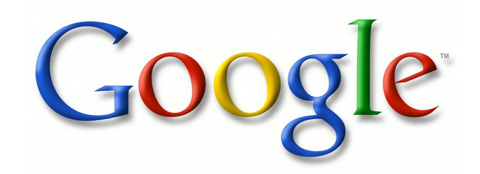


GRUNDRISS

DER

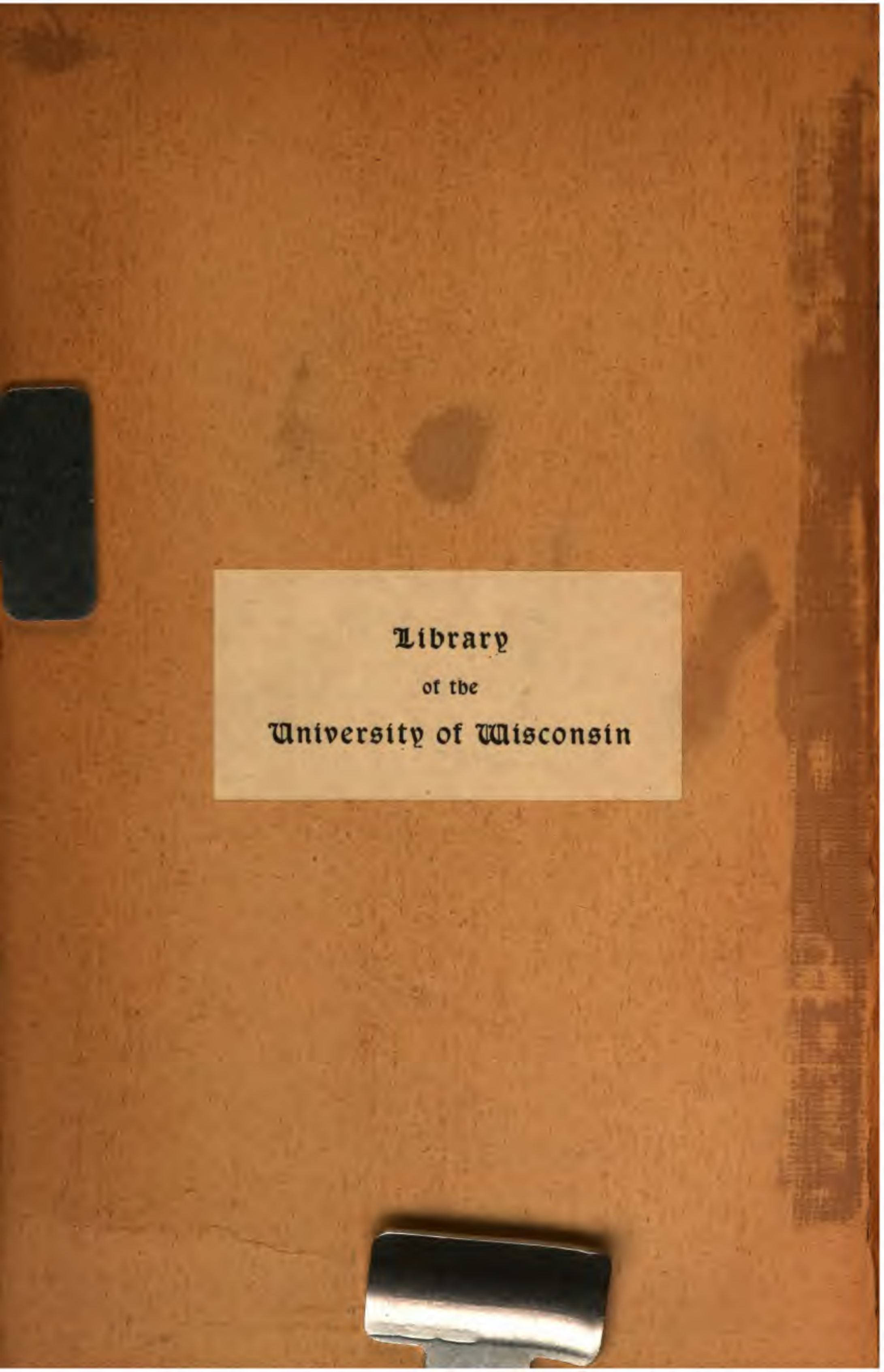
ELEKTROTECHNIK.

Verfasst von

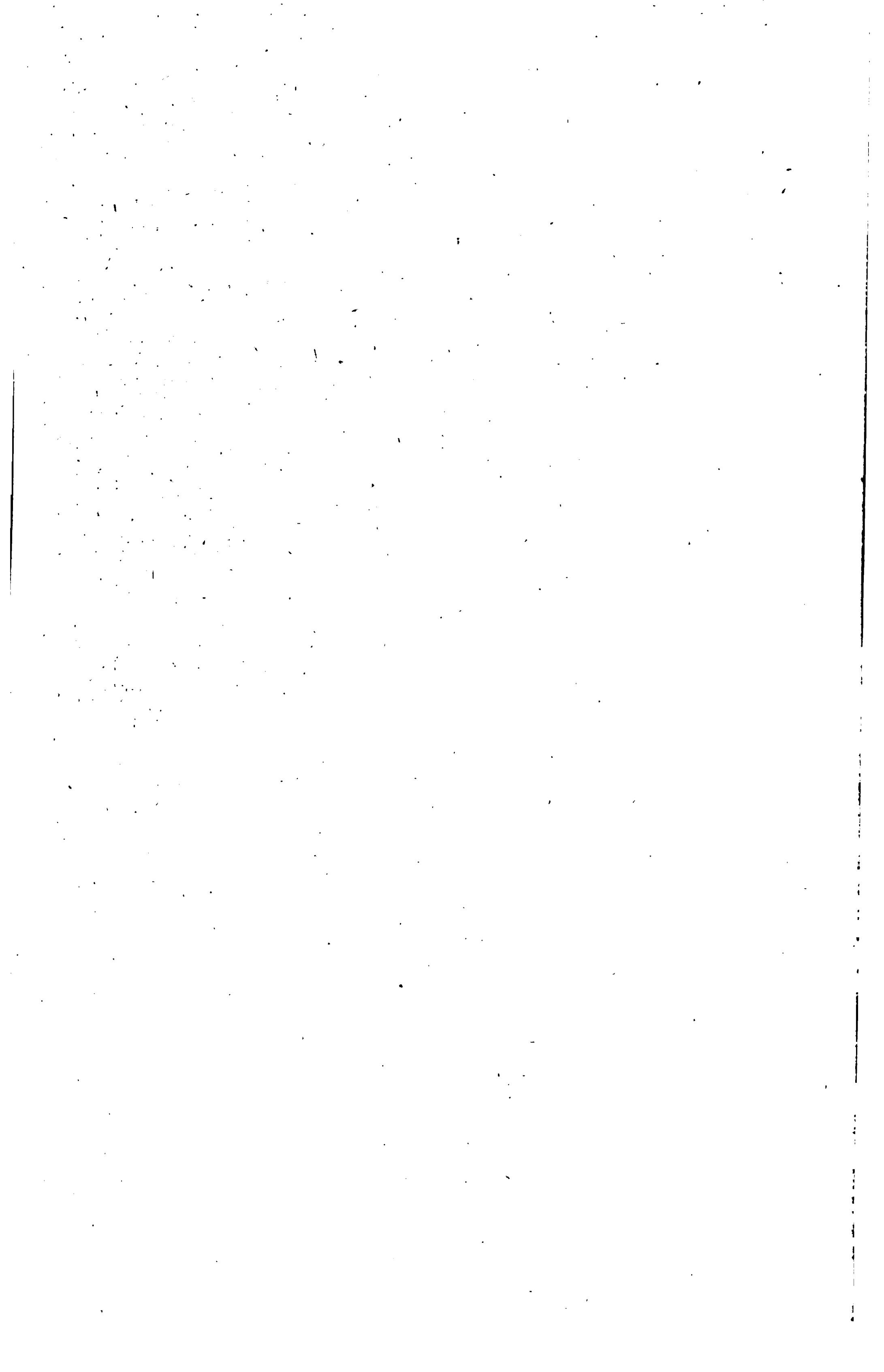
HEINRICH KRATZERT.

I. Theil 2. Buch

LEIPZIG UND WIEN
FRANZ DEUTICKE


Library
of the
University of Wisconsin





GRUNDRISS

DER

ELEKTROTECHNIK

für den praktischen Gebrauch,
für Studierende der Elektrotechnik und
zum Selbststudium.

Verfasser:

Heinrich Kratzert,

Ingenieur und k. k. Professor für Elektrotechnik an der Fachschule für Elektrotechnik der k. k. Staatsgewerbeschule in Wien, X.

I. Theil, 2. Buch.

2. Auflage.

Messungen. Elektrische Maschinen und Motoren für Gleichstrom, Wechselstrom sowie Mehrphasenstrom.

Mit 319 Abbildungen.

LEIPZIG UND WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1899.

Verlags-Nr. 636.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Das 2. Buch des **Grundrisses der Elektrotechnik** umfasst zwei Abschnitte:

I. Abschnitt. **Messungen:**

I. Kapitel. Hilfslehren: Absolute und relative Messungen, Spiegelablesung, Stromrichtungs- und Polbestimmungen. Der letzte dieser drei Paragraphe erscheint an früherer Stelle.

II. Kapitel. Widerstandsapparate. Allgemeines, Wickelung der Widerstandsrollen, Konstruktionen, Normal-Widerstands-Etalon, Normal-Ohm, Walzenrheostat, Rheochord, Widerstandssätze, Graphitwiderstände, Starkstrom-Rheostate, Glühlampenbatterien, Flüssigkeitswiderstände und Berechnung der Widerstandsapparate Dieses Kapitel wurde vermehrt und gänzlich umgearbeitet. Besondere Aufmerksamkeit habe ich der Berechnung der Widerstandsapparate zugewendet, die wohl in einfachster Weise mit Hilfe einer Tabelle (S. 10) durchgeführt sein dürfte.

III. Kapitel. Kondensatoren: Aufbau und Vertheilungszahlen.

IV. Kapitel. Normal-Elemente: Daniell und Latimer Clark. Hier werden für praktische Zwecke möglichst vollkommene Beschreibungen angestrebt.

V. Kapitel. Messintrumente: Wissenschaftliche Instrumente, Industrielle Galvanometer und Elektrische Arbeitsmesser. Die 2. Auflage bringt neu: Astatisches Spiegelgalvanometer nach Siemens & Halske, Stromwagen, Elektrokalorimeter, Voltameter, Elektrometer und Galvanometer-Benennungen. In der neuen Auflage theile ich sämmtliche Messinstrumente nach den Wirkungen des Stromes in 9 Gruppen (S. 41).

VI. Kapitel. Messmethoden: Widerstand, Elektromotorische Kraft, Stromstärke, Kapacität, Dielektricitäts-Konstante und Induktions-Koëfficienten. Diese Methoden wurden neu aufgenommen.

VII. Kapitel. Wechselstrommessungen im Besonderen: Messinstrumente und Messungen. Nach einer Eintheilung und Erklärung der Wirkungsweise der einzelnen Gruppen dieser Instrumente folgen die Methoden zur Messung der folgenden Größen: Stromstärke, Spannung, Elektrischer Effekt, Phasendifferenz und Frequenz. Den hervorragenden Fortschritten auf dem Gebiete der Wechselstrom-Technik entsprechend wurden die genannten Messungen neu aufgenommen und gesondert besprochen.

VIII. Kapitel. Magnetische Messungen: Allgemeines, Form der Prüfstücke, Messmethoden, Einfachste Stahlprüfung, Eisenprüfung, Magnetometrische und Ballistische Methode. Von größter Wichtigkeit für den Bau elektromagnetischer Apparate (Dynamo, Elektromotoren, Automaten, Bogenlampen u. s. w.) sind die magnetischen Messungen; sie bilden deshalb ein neues Kapitel der neuen Auflage.

IX. Kapitel. Photometrie: Einheiten, Hefner-Lampe, Vergleichs- oder Zwischenlichtquellen, Kriterien, Photometer nach Bunsen, Lummer und Brodhun, Leonhard Weber und weitere Photometer. Dieses Kapitel erscheint dem behandelten Stoffe neu eingereiht.

X. Kapitel. Mechanische Messungen: Drahtlehre, Schublehre, Umdrehungszähler, Tachometer, Prony'scher Zaum und Arbeitsmesser. Der Inhalt dieses Kapitels ist wesentlich mit der alten Auflage identisch; geändert wurde nur der Ort der Abhandlung, weil in der neuen Auflage sämmtliche Messungen den Gegenstand eines Abschnittes bilden. Die Erweiterungen betreffen einzig und allein den Prony'schen Zaum.

II. Abschnitt. **Elektrische Maschinen und Motoren für Gleich-, Wechsel- und Mehrphasenstrom.**

I. Kapitel. Einleitung und Eintheilung. Von der Erfindung der Dynamo durch Werner von Siemens ausgehend, werden die elektrischen Maschinen und Motoren in magnet- und dynamoelektrische eingetheilt.

II. Kapitel. Wesentliche Bestandtheile: Anker, Stromabgeber, Bürstenvorrichtung und Feldmagnete.

III. Kapitel. Schaltung, Zusammenschaltung und Regelung der Dynamo und Motoren: Reihenmaschine, Nebenschlussmaschine, Maschine mit gemischter Schaltung, Weitere Schaltungen, Regelung, Regelung der Wechselstrommaschinen, Zusammenschaltung, Hintereinanderschaltung, Nebeneinanderschaltung, Zusammenschaltung von Wechselstrommaschinen und Allgemeine Regeln. Die beiden letzten Kapitel haben ihren alten Umfang beibehalten.

IV. Kapitel. Weitere Bemerkungen über die Konstruktion der Dynamo und Motoren: Anker, Magnete,

Bürstenvorrichtungen und Ankerwickelungen. Der letzte Paragraph ist neu.

V. Kapitel. Untersuchung der Dynamo und Motoren: Wichtigste Hilfsapparate, Untersuchung der Isolation elektrischer Maschinen, Unterbrechung im Anker, Maschine gibt keinen Strom, Funkenbildung, Stromstärke, Spannungsdifferenz, Widerstand, Güte des magnetischen Feldes, Güteverhältnisse, Armaturverluste, Pferdestärke und Vortheile beim Prüfen. Neu zusammengestellt und erweitert sind die Armaturverluste.

VI. Kapitel. Theorie der dynamoelektrischen Maschinen und Motoren: Grundgleichung der Dynamo, Einführung der Winkelgeschwindigkeit in die Grundgleichung und Summierung der elektromotorischen Kräfte.

VII. Kapitel. Berechnung dynamoelektrischer Maschinen und Motoren: Die gestellte Aufgabe wurde auf dreierlei Art gelöst. Zunächst sind Versuchsmaschinen mit sämmtlichen Abmessungen angegeben, so dass man in die Lage kommt, diese Maschinen, beziehungsweise Motoren ohne jede Rechnung zu bauen. Dann werden praktische Regeln wiedergegeben, um andere Maschinen und Motoren mit Zuhilfenahme der Versuchsmaschinen zu berechnen. Die theoretische Berechnung schließlich folgt im nächsten Kapitel, während hier praktische Erörterungen über zulässige Beanspruchung, Isolation, Lagen, Abtheilungen, Magnetisches Feld, Wirksamer Ankerdraht, Anker, Eisenquerschnitt, Feldmagnet, Wechselstrommaschinen, Motoren und Bemerkungen als Grundlage für den Bau und die Berechnung der Dynamo und Motoren dienen.

VIII. Kapitel. Berechnung der Magnetwickelung. Ausgehend vom magnetischen Stromkreise gliedert sich hier die Theorie nach J. und E. Hopkinson mit Beispielen an.

IX. Kapitel. Wechselstrom: Gleichstrom-Wechselstrom, Inducierte elektromotorische Kraft, Unterschied zwischen Gleich- und Wechselstrom, Arbeit des Mehrphasenstromes, Schaltung des Mehrphasenstromes, Zusammensetzung der elektromotorischen Kräfte bei Zwei- und Drei-Phasenstrom, Zusammensetzung der Ströme, Phasen- und verkettete Spannung, Wickelung der Mehrphasenstrommotoren, Läufer, Ständer, Umbau einer Gleichstrommaschine auf einen Mehrphasenerzeuger. Die letzten 12 Paragraphe wurden neu aufgenommen.

X. Kapitel. Beschreibung von Dynamomaschinen und Motoren: Siemens & Halske, Vereinigte Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft, Österreichische Schuckertwerke, Berliner Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft, Ganz & Co., Maschinenfabrik Örlikon und Allgemeine

Elektricitätsgesellschaft. Die neue Auflage erweitern die Paragraphe 237, 239, 240, 241, 246 und 248.

Des knapp bemessenen Raumes wegen war es mir leider unmöglich, weitere Maschinen und Motoren aufzunehmen, so dass ich das mir vorliegende reichliche Material nicht gänzlich benutzen konnte. Die zahlreichen Erweiterungen, Verschiebungen und Ausscheidungen, welche die neue Auflage des II. Buches aufweist, sollen die vorliegende Arbeit ihrem Zwecke näher bringen. Besondere Berücksichtigung fanden bei der Neubearbeitung die Wechselströme. Der Umfang des Stoffes, der sich auf dieses Gebiet bezieht, erscheint in der neuen Auflage vervielfacht. Behufs einfacherer Benützung der Figuren erhielten dieselben als Unterschriften kurze Erklärungen.

Für die Mitwirkung an der Herstellung von Zeichnungen, Angabe von Berichtigungen sowie für die Überlassung von Drucksorten und sonstigen Hilfsmitteln sei es mir gestattet, auch an dieser Stelle allerseits meinen besten Dank zu sagen.

Mit diesen Zeilen versehen, veröffentliche ich das II. Buch des Grundrisses der Elektrotechnik; möge dasselbe in Fachkreisen wieder eine wohlwollende Beurtheilung finden.

Wien, im September 1898.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichnis.

I. Abschnitt.

Messungen.

Seite

II. Abschnitt.

Elektrische Maschinen und Motoren.

I. Abschnitt.

Messungen.

I. Kapitel.

Hilfslehren.

1. Absolute und relative Messungen.

Man nennt eine Messung absolut, wenn man die zu messende Größe direkt auf absolute Centimeter-, Gramm-, Sekunden-Einheiten (I. B., §. 83) bezieht. Berechnet man z. B. die Konstante einer Tangentenbussole (I. B., §. 41, S. 28) einerseits aus ihren Abmessungen, andererseits aus der Dichte des magnetischen Feldes der Erde, dann nennt man die Messung eine absolute. Dagegen heißt die Messung eine relative, wenn man die Konstante durch eine Aichung mit einem Voltameter oder mit einem Normalelement bestimmt.

2. Spiegelablesung (Poggendorff).

Die genauesten Messungen ganz kleiner Ausschläge der beweglichen Theile der Galvanometer ermöglichen die Spiegelablesungen. Man unterscheidet die Fernrohr- und die Lampenablesung.

1. Fernrohrablesung.

Bei den Instrumenten, welche hier in Betracht kommen, ist der drehbare Theil mit einem Spiegel aus planparallelem Glas oder aus Stahl S S_1, Fig. 1, versehen. Gegen diesen Spiegel richtet man ein Ablesefernrohr A, das sich oberhalb oder unterhalb einer Millimeter-Theilung B C befindet und stellt das Fernrohr so ein, dass man das Bild, welches der Galvanometerspiegel von der Theilung erzeugt, im Gesichtsfelde des Fernrohres sieht. Wenn wir weiters annehmen, dass eine durch den Punkt D des Spiegels, durch die Fernrohrachse und den Aufhängefaden gelegte Ebene auf dem Spiegel senkrecht steht, so zeigt das Fernrohr den Nullpunkt der Theilung an. Durchfließt nun ein Strom das Instrument, dann kommt der Spiegel S in die Lage S_1, und es wird der Punkt K in der Mitte des Fadenkreuzes des Fernrohres A

sichtbar werden. L bedeutet eine Senkrechte (das Loth) auf den Spiegel S_1. Bezeichnen wir die Entfernung zwischen AD und K mit s_1, so muss $tang\ 2\varphi = \frac{s_1}{a}$ sein.

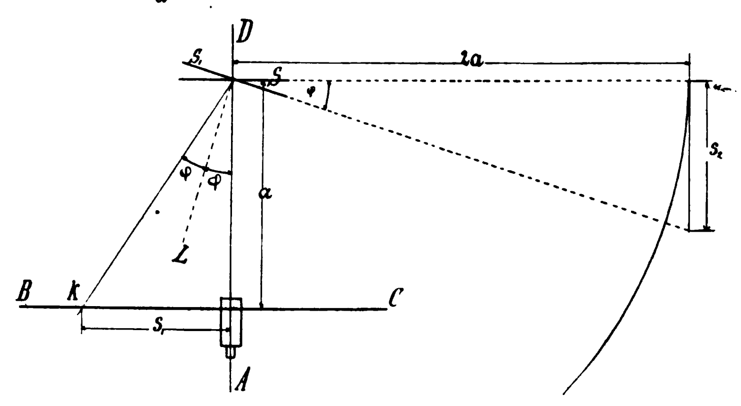


Fig. 1. Spiegelablesung.

Für einen sehr kleinen Drehungswinkel des Spiegels ist die Tangente dem Bogen gleich und man kann demnach $tang\ 2\varphi = 2\varphi$ setzen. Also $\frac{s_1}{a} = 2\varphi$ und $\varphi = \frac{s_1}{2a}$.

Wollen wir φ in Graden ausdrücken, so müssen wir berücksichtigen, dass der Umfang des Kreises einerseits gleich ist 360°, andererseits gleich $2r\pi$ ist; d. h. $360^0 = 2r\pi$, oder für den Radius $r = 1$ gesetzt, $360^0 = 2\pi$ oder $180^0 = \pi$, d. h.: Die Grade verhalten sich zu dem Umfange im Verhältnis $\frac{180}{\pi}$.

Mit Hilfe dieses Verhältnisses übergeht die Gleichung $\varphi = \frac{s_1}{2a}$ in die folgende:

$$\varphi = \frac{180}{\pi}\,\frac{s_1}{2a} = 57{\cdot}296\,\frac{s_1}{2a}.$$

Beispiel: $a = 3\ m$, $s_1 = 120\ mm$, $\varphi = ?$

$$\varphi = \frac{57{\cdot}296\,.\,120}{2\,.\,3000} = 1{\cdot}1459^0,\quad \varphi \backsim 1^0.$$

Sobald demnach der Spiegel um 1·1459° abgelenkt wird, zeigt das Skalenbild eine Ablenkung von 120 *mm*.

Beispiel: $a = 3\ m$, $s_1 = 1\ mm$, $\varphi = ?$

$$\varphi = \frac{57{\cdot}296\,.\,1}{6000} = 0{\cdot}009549,$$

$$\varphi = 0{\cdot}5729\ \mathit{Min.},\quad \varphi = 0{\cdot}5\ \text{Min.}$$

Da man 1 *mm* noch gut abzulesen in der Lage ist, so kann man demnach eine Drehung des Spiegels um 0·573 Minuten oder rund um eine halbe Minute schon genau ablesen.

Mit einem Zeigergalvanometer würde man dieselbe Empfindlichkeit erst in dem Falle erreichen, wenn der Zeiger die Läge 2a hätte, denn erst dann wäre, wie es aus der Figur ersichtlich ist, $s_1 = s_2$. Die Empfindlichkeit kann noch mit der Entfernung a gesteigert werden. Man nennt diese Methode der Ablesung subjektiv (einseitig), weil sie nur von einer Seite, nämlich nur von einem Beobachter gemacht werden kann. Die Theilungen bestehen gewöhnlich aus einem auf einem Holzrahmen befestigten Papierstreifen. Derselbe ist 1 *m* lang und in *mm* getheilt. Die Fernrohrablesung ermöglicht die genauesten Messungen.

2. Lampenablesung.

Objektiv dagegen nennt man die Ablesung dann, wenn sie von einer beliebigen Anzahl von Beobachtern gleichzeitig erfolgen kann. Dieses Verfahren besteht darin, dass man sich das Fernrohr bei A, Fig. 1, durch eine Lampe ersetzt denkt. Für die Ablesungen eignen sich am besten transparente (durchscheinende) Skalen (Theilungen), z. B. solche nach J. Carpentier oder Ducretet in Paris, Hartmann & Braun in Frankfurt-Bockenheim, Edelmann in München u. s. w. Die Anordnung dieses Verfahrens entspricht der eben angeführten, wenn der Spiegel S ein Hohlspiegel ist. Während der Hohlspiegel die Strahlen sammelt und ein deutliches Bild gibt, müssen die Strahlen bei Anwendung eines Planspiegels, durch eine Konvex-Linse bei L, gesammelt werden. In beiden Fällen erzeugen die Spiegel ein Bild eines Schlitzes oder Fadenkreuzes der Lampe auf dem Schirme. Die Lampenablesung erreicht nicht die Genauigkeit der Fernrohrablesung, da die Bilder insbesondere für größere Ablenkungen undeutlich werden.

Zum Kommutieren des Stromes verwendet man Wippen, Kommutatoren und Stromschlüssel. Wippen (Poggendorff, 1884) gestatten die Herstellung beliebiger Drahtverbindungen. Der Gyrotrop (Ampère, 1826, Pohl, 1828) ist eine Wippe, welche es gestattet, die Stromrichtung zu wechseln. Kommutatoren (Jacobi, Ruhmkorff, 1846) dienen ebenfalls zum Stromrichtungs-Wechsel. Schlüssel für elektrostatische Messungen (von Beetz, 1880) z. B. am Quadrant-Elektrometer.

3. Stromrichtungs- und Polbestimmungen. Die wichtigsten Hilfsmittel zur Bestimmung der Stromrichtung in Leitungen und Bezeichnung der Pole von Stromquellen (Dynamomaschinen, Elementen u. s. w.), Accumulatoren, Transformatoren, elektrischen Lampen, Instrumenten, Apparaten, Automaten, Elektricitätszählern u. s. w. sind:

a) Die Ampère'sche Regel (I. B., S. 46). Da Magnetnadeln in der Nähe von Dynamomaschinen leicht umpolarisiert werden, sind dieselben vor dem Gebrauche auf ihre Polarität zu prüfen. Der Nordpol einer Magnetnadel muss nach der nördlichen, der Südpol derselben nach der südlichen Himmelsrichtung zeigen.

b) Das Wasser oder besser verdünnte Schwefelsäure (Verhältnis der Verdünnung 1:10). Taucht man die Pole der Stromquelle in Wasser oder verdünnte Schwefelsäure, so findet am negativen Pole eine lebhafte Wasserstoff-Gasentwicklung statt (I. B., §. 49, S. 39).

c) Mit Jodkaliumlösung getränktes Papier zeigt, wenn es befeuchtet mit den Polen einer Stromquelle in Verbindung tritt, am positiven Pole einen schwarzen Fleck. Je näher die beiden Berührungspunkte der Pole auf dem Papiere liegen, desto rascher und deutlicher zeigt sich die Färbung.

d) Das sogenannte Polreagenzpapier erhält, wenn es befeuchtet an die Pole einer Stromquelle angelegt wird, am negativen Pole eine rothe Färbung. Bezüglich der Entfernung der Berührungspunkte gilt das unter *c)* Gesagte.

e) Der Polsucher nach Berghausen, Fig. 2, bestimmt, sowie die Polsucher nach Siemens und Woodhouse & Rawson, die Pole der Stromquellen durch Anlegen derselben an die Klemmen K_1 und K_2. Die Pole k_1 und k_2 sind mit den Klemmen K_1 beziehungsweise K_2 leitend verbunden. Bei stärkeren Strömen zeigt die, den negativen Pol des Polsuchers k_2 umgebende Flüssigkeit sofort, bei ganz schwachen Strömen nach einigen Minuten, eine intensiv rothe Färbung. Die Flüssigkeit besteht aus einem Alkalisalz und etwas Phenolphtalein. Wird diese Flüssigkeit vom Strome durchflossen, so tritt Elektrolyse ein. Das am negativen Pole frei werdende Alkali bildet mit dem Phenolphtalein einen rothen Niederschlag.

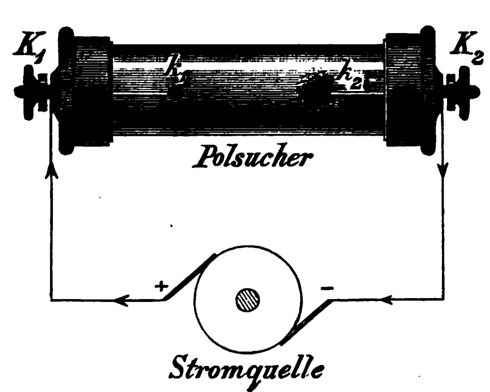


Fig. 2. Polsucher nach Berghausen.

Recept für die Flüssigkeit: 20 *g* reiner Salpeter in 100 *g* destilliertem Wasser, $^1/_5$ bis $^1/_4$ des Volumens Glycerin und 20 bis 30 Tropfen einer Lösung von Phenolphtalein in Alkohol.

f) Lackmuspapier[1]) wird durch den + Pol einer Stromquelle roth, durch den negativen blau gefärbt.

g) Curcumapapier[1]) färbt der negative Pol rothbraun.

h) Blaues Pauspapier wird vom negativen Pole weiß gefärbt.

i) Einfache Bestimmung der Pole von Glühlampen. Man unterbricht einen etwa 0·5 *mm* Draht, welcher sich in dem Stromkreise einer Glühlampe befindet. An der Unterbrechungsstelle bildet sich ein Lichtbogen und an dem heißerem + Drahtende eine kleine Kugel aus geschmolzenem Kupfer.

Die Bezeichnung der Pole von Stromquellen, Lampen, elektrischen Instrumenten, Apparaten u. s. w. erfolgt durch die Zeichen + (plus) und — (minus). Der positive Pol der elektrischen Lampe, des Apparates oder Instrumentes wird mit dem positiven, der negative Pol derselben mit dem negativen Pole der Stromquelle verbunden. Der Anschluss der Accumulatoren an eine Stromquelle (z. B. Dynamo) erfolgt ebenfalls an denselben Polen.

j) Die Richtung des magnetischen Stromes (der Kraftlinien) gibt die Südnordrichtung einer in unmittelbarer Nähe desselben befindlichen Magnetnadel, wenn dieselbe allseitig frei beweglich ist, an.

II. Kapitel.

Widerstandsapparate.

4. Allgemeines.

Unter Widerstandsapparaten versteht man solche Apparate, welche dazu dienen, in eine Stromquelle Widerstände von den kleinsten bis zu den größten Abstufungen einzuschalten. Die Widerstände werden zumeist aus Metallen, Legierungen, Kohlen und Flüssigkeiten hergestellt. Die wichtigsten Eigenschaften, welche an diese Materialien gestellt werden, sind: 1. Haltbarkeit, 2. geringe Änderung des Widerstandes mit der Temperatur, 3. großer specifischer Widerstand.

Früher wurden zumeist die Metalle Eisen und Kupfer, die Legierungen aus Kupfer, Nickel und Zink, und zwar Nickel, Neusilber (Argentan, Blanka, Nickelin), Platinoid, Rheotan und für sehr hohe Widerstände Graphit verwendet.

Die neuesten Materialien sind: Konstantan (60 *Cu*, 40 *Ni*),
Patentnickel (75 *Cu*, 25 *Ni*),
Manganin (24 *Cu*, 12 *Mn*, 4 *Ni*)
und Kruppin.

---

[1]) Kratzert, Polbestimmung, Zeitschrift für Elektrotechnik 1894, Heft X.

Das Manganin hat eine kleinere thermoelektrische Kraft gegen Kupfer [1]) als die früheren Materialien, muss jedoch durch Schellack-Überzug gegen Oxydation geschützt werden; dasselbe ist heute anerkannt das beste Material für Präcisionswiderstände.

Die Widerstandsmaterialien haben die Form von Drähten, Litzen, Bändern, Geweben, Spiralen (Rollen, Locken), Röhren, Kohlenstäben und Kohlenplatten in Nebeneinanderschaltung und Quecksilbersäulen. Die netzartigen Gewebe aus Metallfäden nach Siemens & Halske geben die Wärme rasch ab. Bei neuen Drähten ist die Widerstandsänderung am größten. Beim Aufwickeln werden schwache Drähte ausgedehnt und vergrößern dadurch ihren Widerstand. Nach längerem Erwärmen auf etwa 140° C. erweisen sich die Drähte gegen Widerstandsänderungen beständiger.

Durch Flüssigkeitskühlung sorgt man häufig für rasche Abgabe der Wärme. Kleine Widerstände erhält man praktisch durch Nebeneinanderschaltung gleich großer oder größerer Widerstände.

Will man einen Widerstand nur unbedeutend ändern, so kann man einen großen Widerstand w_1 zu einem kleinen w_2 parallel schalten. Der gesammte Widerstand $W = \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}$ (I. B., §. 44, S. 34).

Für Abzweigungen von Strömen müssen an den Rheostaten passende Klemmen, bezw. Stöpsel vorhanden sein; man kann dann auch leicht einen Widerstand einem Theile des ursprünglichen Widerstandes parallel schalten. Weiters kommt man mit Hilfe dieser Einrichtung in die Lage, von einem Theil eines Widerstandes vortheilhaft geringe Spannungen abzuschalten (z. B. bei indirekten Strommessungen). Widerstände sind entweder von Luft umgeben oder sie befinden sich in einem Öl- oder Petroleumbade. Bei sämmtlichen Apparaten ist auf gute Kontakte zu achten!

5. Wickelung der Widerstandsrollen.

Die Drähte können unifilar, bifilar oder abwechselnd unifilar gewickelt sein. Unifilar nennt man die einfachste Wickelung. Bei derselben führt man den Draht immer in derselben Richtung um die Rolle, ohne die Wickelungsrichtung zu ändern, so dass der Strom sämmtliche Windungen in derselben Richtung durchfließt. Knickt man den Draht in der Mitte und wickelt den nun doppelten Draht auf die Rolle auf, dann erhält man eine bifilar bewickelte Widerstandsrolle. Solche Windungen haben keine Selbstinduktion, weil in ihnen Ströme im entgegengesetzten Sinne nebeneinander fließen. Dagegen besitzen sie Ladungs-Kapacität, welche

[1]) Feussner und Lindeck, Wissenschaftl. Abhandlungen der Reichsanstalt 2, 501, 1895.

mit der Länge der Drähte ansteigt. Will man ganz geringe Selbstinduktion und Kapacität erreichen, dann muss man abwechselnd unifilar (Chaperon) wickeln. In diesem Falle wickelt man kurze Lagen und wechselt nach jeder Lage in der Windungsrichtung, so dass die Hälfte in der einen, die andere Hälfte der Windungen in der entgegengesetzten Richtung vom Strome durchflossen wird.

6. Konstruktionen.

Für die genauesten Messungen eignen sich vorzüglich die Normalwiderstände der Physikalisch-technischen Reichsanstalt in Charlottenburg. Das Ohm wird auch als Normaleinheit aus Quecksilber ausgeführt.

Weitere Konstruktionen der Widerstände sind:

Walzen-Rheostate, Rheochorde, Widerstandssätze, Graphitwiderstände, Starkstrom-Rheostate, Lampen-Batterien und Flüssigkeitswiderstände.

7. Die Normalwiderstands - Etalons der physikalisch - technischen Reichsanstalt bestehen aus Manganin. Der Widerstand der sehr starken Kupferzuleitungen beträgt etwa 0·0001 Ω. Diese Widerstände werden von 0·0001 Ω bis 10000 Ω ausgeführt.

8. Normal-Ohm. Der Definition des Ohm's entsprechend wurden Normaleinheiten aus Quecksilber geschaffen. Dieselben ergaben sehr genau übereinstimmende Werte.

9. Walzen Rheostate (Jacobi, Wheastone). Man unterscheidet hauptsächlich zwei Konstruktionen. Der Apparat für größere Widerstände besteht aus einer Metallrolle und aus einer Rolle aus Serpentin, Marmor, Porzellan oder aus irgend einem anderen Isolator. Befindet sich in den Nuten der isolierten Rolle ein Draht aufgerollt, so kann man denselben auf die Metallrolle aufwickeln. In der Stromquelle erscheint immer nur derjenige Widerstand eingeschaltet, welcher auf dem Isolator aufgewickelt ist, da die Windungen der Metallrolle durch das Metall kurz geschlossen sind. Der Apparat für kleinere Widerstände besteht aus einer Isolatorwalze. Auf einer parallel dazu montierten Leitspindel lauft eine Rolle, welche an dem Drahte Kontakt gibt und es so gestattet, die verschiedensten Widerstände einzuschalten. Man kann auch den Kontakt feststehen lassen, während die Walze auf einer Leitspindel lauft. Mittelst der letzteren Anordnung sind die empfindlichsten Einstellungen möglich.

10. Das Rheochord oder der Schlittenapparat nach Poggendorff, Kirchhoff, Du Bois Reymond, Müller (Quecksilber-

Agometer). Das Rheochord besteht aus 2 geraden, parallelen Drähten, welche durch einen Schieber an beliebiger Stelle miteinander verbunden werden.

11. Widerstandssätze (Widerstandsskalen, Widerstandskästen). Dieselben (I. B., §. 33, S. 19, Fig. 11 bis 13 *b*) gestatten eine stufenweise Einschaltung von Widerständen innerhalb gewisser Grenzen. Beliebige Widerstände lassen sich leicht stöpseln, wenn man je 10 Einheiten in jeder Dekade zur Verfügung hat. Ebenso eignen sich die Widerstände 1, 1, 2, 4, 8, 16.

Mit den Skalengliedern 0·1, 0·1, 0·2, 0·2, 0·5, 1·0, 1·0, 2·0, 5·0, 10, 10, 20, 50, 100, 100, 200, 500 kann man Widerstände von 0·1 bis 1000 Ohm auf Zehntel genau einschalten. Für Messzwecke sind die Sätze: 1, 2, 3, 4 oder 1, 2, 2, 5 in jeder Dekade gebräuchlich. Um Fehler leicht bestimmen zu können, soll der kleinste Widerstand doppelt vorhanden sein. Eine Auswahl von 94 verschiedenen Widerständen zwischen $10\,w$ und $\frac{w}{10}$ gewähren 10 gleiche Widerstände w, wenn man dieselben beliebig hinter und nebeneinander schalten kann. Die Dekadenwiderstände nach S. & H. enthalten 10 gleiche Rollen. Durch Versetzen des Stöpsels kann man 1 bis 10 Rollen einschalten.

Diese Anordnung ist auch für größere Widerstände bequem, wenn man in einem Stromkreise die Widerstände w, $2\,w$, $3\,w$ u. s. w. einzuschalten hat. Um jedoch beim Versetzen des Stöpsels den Stromkreis nicht zu unterbrechen, muss man mit 2 Stöpseln arbeiten. Diese Dekadenwiderstände beseitigen Stöpselfehler beinahe gänzlich. Die Stöpsel dürfen nur am Griffe gehalten und müssen nach jedesmaligem Gebrauche gereinigt werden. Beim Einsetzen dreht man etwas und drückt mäßig. Stöpsel und Löcher muss man mit Leder ohne Faser abwischen; sie dürfen nur selten mit feinstem Schmirgelpapier gerieben werden. Temperatursteigerung lockert die Stöpsel. Nach der Messung sind sämmtliche Stöpsel zu stöpseln. Falls die Stöpsel längere Zeit nicht gebraucht werden, sollen sie locker stecken.

12. Graphitwiderstände (Philipp, 1870). Derselbe verwendet Bleistiftstriche auf einer Platte aus Ebonit oder mattem Glas als Widerstände. S. & H. reiben die spiralförmigen Nuten eines Hartgummicylinders sorgfältigst mit feinstem Graphit ein.

Cohn und Arons ziehen ebenfalls Bleistiftstriche auf mattem Glas. Diese Graphitwiderstände haben für viele Millionen Ohm ganz geringe Abmessungen.

13. Starkstrom-Rheostate (I. B., S. 20, Fig. 14).

14. Glühlampen-Batterien. Werden häufig in Versuchsräumen der Fabriken als Ballastwiderstand zum Ausprobieren von elektrischen Maschinen verwendet. Man schaltet eine große Anzahl Glühlampen so parallel, dass man sie einzeln oder in Gruppen ein- und ausschalten kann.

15. Flüssigkeitswiderstände sind elektrolytische Bäder. Sie finden insbesondere für sehr starke Ströme Verwendung, weil alle andern Widerstände für diesen Zweck zu groß ausfallen würden. Durch Veränderung der Entfernung der Elektroden lassen sich verschiedene Widerstände einschalten. Sollen die beiden Elektroden gleichmässig abgenützt werden, dann muss man zeitweise die Stromrichtung wechseln. Man gebraucht hauptsächlich:

Zinkvitriol und Zinkelektroden,
Kupfervitriol und Kupferelektroden,
Eisenvitriol und Eisenelektroden,
Sodalösung und Eisenelektroden.

16. Berechnung der Widerstandsapparate. Für die Berechnung solcher Apparate ist der specifische Widerstand des Materiales (I. B., S. 16, §. 33) und die zulässige Beanspruchung des Drahtes für 1 mm^2 maßgebend. Für die rasche Berechnung verwende ich die folgende oder ähnliche Tabellen. Diese Tabelle gibt zusammengehörige Werte von Durchmessern, Querschnitten, Drahtlängen, Widerständen, zulässigen Ampère und Gewichten gangbarer Sorten, von Kruppin-Drähten (c=0·85). Jede Spirale hat 60 Windungen und einen Dorndurchmesser von 15 *mm* und nimmt etwa einen Raum von $30 \times 30 \times 270$ *mm* $= 243000\ mm^3$ $= 243\ cm^3$ ein. Bei den als zulässig angegebenen Stromstärken beträgt die Erwärmung rund 40° C. Bei den meisten Widerstandsapparaten sind größere Erwärmung, bzw. Querschnitte zulässig. Die Beanspruchung des Kruppins beträgt bei 0·75 mm^2 etwa 4 Ampère und wird bei stärkerem Draht, wie es auch die Tabelle S. 10 zeigt, immer kleiner, bei 50 mm^2 beträgt die Beanspruchung 2 Ampère, bei 150 mm^2 1·5 Ampère und bei 500 mm^2 1 Ampère. Die Erwärmung hängt von dem Material ab. Für Drähte anderen Materiales müssen die Kolonnen 4 und 6, S. 10, bestimmt werden.

Der schweren Bearbeitung wegen nimmt man für Leiter über 20 mm^2 Querschnitt zumeist rechteckige Querschnitte.

B e i s p i e l: In eine Stromquelle, deren Klemmenspannung 120 V o l t beträgt, ist ein Widerstandsapparat einzuschalten, welcher es ermöglicht, 15, 10 und 5 A m p è r e einzustellen.

Der Rheostat muss demnach 3 Abtheilungen haben.

Tabelle.

Durchmesser in *mm*	Querschnitt in mm^2	Drahtlänge einer Spirale in *m*	Widerstand einer Spirale in Ohm	Zulässige Ampère	Gewicht einer Spirale in Gramm
0·5	0·196	2·921	12·686	1	4·639
0·75	0·442	2·967	5·714	2	10·625
1·00	0·785	3·016	3·269	3	19·182
1·25	1·227	3·062	2·124	5	30·440
1·50	1·767	3·110	1·498	7	44·535
1·75	2·405	3·155	1·117	10	61·940
2·00	3·142	3·202	0·867	12	81·522
2·25	3·976	3·245	0·696	14	104·650
2·50	4·909	3·298	0·572	15	131·160
2·75	5·940	3·344	0·479	18	160·947
3·00	7·069	3·393	0·409	21	194·317
3·50	9·621	3·490	0·309	28	272·045
4·00	12·566	3·581	0·242	35	365·047
4·50	15·904	3·674	0·197	40	473·285
5·00	19·635	3·768	0·163	50	599·564

1. Abtheilung: $W = \frac{E}{J} = \frac{120}{15} = 8$ Ohm. Laut Tabelle sind für 15 Ampère 4·909 mm^2 erforderlich; eine solche Spirale hat 0·572 Ohm. Für 8 Ohm sind demnach 8:0·572 ∾ 14 Spiralen erforderlich.

2. Abtheilung: $W = \frac{E}{J} = \frac{120}{10} = 12$ Ohm beträgt der Widerstand der Abtheilungen 1 und 2 und 12 — 8 = 4 Ohm = Widerstand der 2. Abtheilung. Nach der Tabelle entsprechen 10 Ampère einem Querschnitt von 2·405; eine derartige Spirale = 1·117 Ohm und 4 : 1·117 ∾ 3·5 Spiralen.

3. Abtheilung: $W = \frac{E}{J} = \frac{120}{5} = 24$ Ohm; davon ab der Widerstand der beiden 1. Abtheilungen (8 Ohm + 4 Ohm = 12 Ohm), verbleiben 12 Ohm als Widerstand der 3. Abtheilung.

5 Ampère erfordern kraft obiger Tabelle 1·227 mm^2. 1 solche Spirale hat 2·124 Ohm. Für 12 Ohm sind demnach 12:2·124 = 5·65 Spiralen zu wählen.

Die Gesammtzahl der Spiralen beträgt demnach $14 + 3·5 + 5·65 =$ $= 23·15$ Spiralen und der Raumbedarf für 1 Spirale beträgt nach obigem 243 cm^3, für 23·15 Spiralen also $243 . 23·15 = 5625·45$ $cm^3 \backsim 5·63$ dm^3. Der Kommutator dieses Rheostates muss drei Kontakte haben. Die Widerstände dieses Apparates kann man sich auch in 2 zerlegt denken, so dass nur die 2 ersten Abtheilungen einen Rheostat vorstellen, während z. B. die 3. Abtheilung die Magnetwickelung einer Nebenschluss-Maschine (I. B., S. 76) vorstellt.

III. Kapitel.

Kondensatoren.

17. Aufbau der Kondensatoren. Die Belegungen bestehen aus Staniolblättern, dünnen Blechen (Normalkondensatoren nach S. & H.) u. s. w. Als Dielektricum wendet man Luft (British Association, Lord Kelvin) oder Scheiben aus isolierendem Material an und zwar: Glimmer (S. & H.), mit einer Mischung von Leinölfirnis und Kolophonium getränktes Papier (Berthoud, Borel & Co.), paraffiniertes Papier, Hartgummi (Zellweger & Ehrenberg), 0·2 *mm* starke Ebonitblätter (für Spannungen bis 11000 Volt), welche mit Chatterton Compound auf die Belegung geklebt sind, u. s. w. Der Aufbau erfolgt auf einer gusseisernen Platte. Auf dieselbe schichtet man abwechselnd Dielektrica und Belegung, lässt das eine Ende der ersten Belegung auf der anderen Seite vorstehen u. s. f. Die auf jeder Seite vorstehenden Enden werden vereinigt und bilden die beiden Gesammtbelegungen des Kondensators. Die Kapacität steigt mit der Anzahl und mit den Abmessungen der Belegungen.

Verwendet man paraffiniertes Papier, so muss man die Gussgrundplatte erwärmen und die Schichten fest zusammenpressen. Während des Aufbaues an den Kondensatoren angeschlossene Batterien sammt Galvanometern zeigen sofort einen entstehenden Isolationsfehler an. Hutin & Leblanc verwenden bis 100 Volt paraffiniertes Papier, von 0·01 *mm* Dicke und gleichstarkes Staniol. Für 1 Mikrofarad (*Mf*) ist die Elektrodenoberfläche 442 cm^2. Die Kondensatoren werden in Holzkästen eingebaut und gleichen äußerlich einem Widerstandskasten. Die Belegungen können auch in beliebiger Anzahl an je ein Messingklotz angeschlossen werden, so dass man Kondensatorsätze erhält und in die Lage kommt, die verschiedensten Kapacitäten zu stöpseln.

18. Vertheilungszahlen (I. B., S. 10).

Luft (0° C., 760 *mm* Barometerstand) = 1

Substanz	Vertheilungszahl	Beobachter
Ebonit	2·21 2·02	Benischke
Gase	1	
Glas, Flintglas, sehr leicht	6·61	J. Hopkinson
„ „ leicht	6·72	„
„ „ dicht	7·4	„
„ „ doppelt extra dicht	9·896	„
Glimmer	5·00	Boltzmann
Gummi, rein	2·3	
Guttapercha	3·84 4·2	Boltzmann „
Kautschuk, rein	2·12	Schiller
„ vulkanisiert	2·69	„
Kohlensäure 0° C., 760 *mm*	1·000946 [1])	Boltzmann
Luft 1 *mm Hg* Druck	0·94	Ayrton
„ 5 *mm Hg* „	0·9985 [1])	„
Öle	2—5	
Ozokerit Schmieröl, Siedep. 430°	2·16	Hopkinson
Papier, paraffiniert	2·56	
Paraffin, helles	1·92—1·96 1·977 1·89	Boltzmann Gibson & Barclay Benischke
Petroleum	2·07	Hopkinson
Schellack	1·71—3·48	
Schwefel	12·42	Benischke
Wasser	*ca.* 80	
Wasserstoff, 760 *mm*	1·000264 [1])	Boltzmann

IV. Kapitel.

Normalelemente.

19. Daniell (Post office standard cell).

In einem Glas befindet sich eine gesättigte Lösung von Zinkvitriol und eine amalgamierte Zinkplatte. Ein besonders poröses Gefäß mit

[1]) Auf absolutes Vakuum bezogen.

gesättigtem Kupfervitriol und einer Kupferelektrode steht, wenn das Element nicht benutzt wird, in einer zweiten mit Wasser gefüllten Abtheilung des Gefäßes. Wird das Element in Gebrauch genommen, so setzt man das Gefäß mit dem Kupfervitriol und der Kupferelektrode in die Zinkvitriollösung-Abtheilung. $E = 1{\cdot}07$ Volt.

20. Latimer Clark. Die wichtigsten Formen dieses gebräuchlichsten Normalelementes stammen von Rayleigh, Lindeck, der Normal-Aich-Kommission des Board of Trade, Kahle, Lodge und K. Feussner. Wir beschreiben hier nur die Form K. Feussner's, Fig. 3, welche von der Physikalisch-technischen Reichsanstalt in Charlottenburg allein amtlich beglaubigt wird. Die positive Elektrode besteht aus einem amalgamierten Platinblech. Zur letzteren führt ein durch ein Glasrohr geschützter Platindraht. Das Platinblech befindet sich in einer Thonzelle, die mit einer Quecksilberoxydul-Pasta ausgefüllt ist. Die negative Elektrode bildet ein unten umgebogener Zinkstab, dessen vertikalen Theil ein mit Paraffin ausgegossenes Glasrohr vor der Berührung mit der Zinksulfat-Lösung schützt. Den horizontalen Theil des Zinkstabes umgeben Zinkvitriol-Krystalle. Die Elektroden sammt den Zinkvitriol-Krystallen befinden sich in einem Gefäß, dessen mittlerer Theil mit koncentrierter Zink-Sulfat-Lösung ausgefüllt ist. Das Element erscheint leicht transportabel, da selbst das Umstürzen desselben eine Berührung der einzelnen entgegengesetzten elektrischen Theile ausschließt. Beim Steigen der Temperatur treten Änderungen in der Koncentration der Zinkvitriol-Lösung ein, die sich sehr langsam durch die Thonzelle zur positiven Elektrode fortpflanzen. Erst wenn die Koncentration der Zinkvitriol-Lösung überall dieselbe ist, zeigt das Element den betreffenden der Temperatur entsprechenden Wert an. Nach Kahle findet man die den jeweiligen Temperaturen t zugehörigen elektromotorischen Kräfte nach der Formel: $E = 1{\cdot}434 - 0{\cdot}0012\,.(t - 15^0\,\mathrm{C.})$ Volt und $E = 1{\cdot}428$ für 20^0 C. Zur genauen Ermittelung der Temperatur der Clark-Elemente werden dieselben häufig in Wasser oder in eine andere Flüssigkeit gestellt. Weitere Normalelemente: Warren de la Rue, Kittler, Fleming, Gouy und S. & H. Das letztere Element

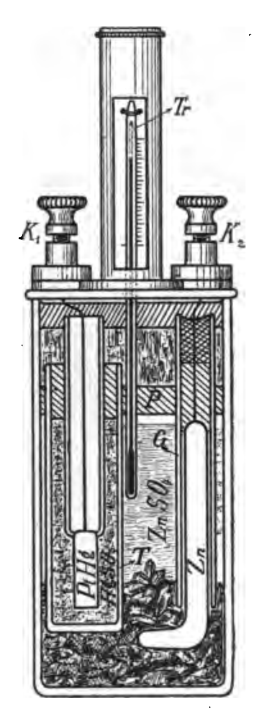


Fig. 3.
Normal-Element nach K. Feussner.

dient zur Prüfung des Torsionsgalvanometers. Nach den Vorschriften der Physikalisch-technischen Reichsanstalt dürfen die Normalelemente höchstens mit 0·01 Milliampère beansprucht werden, d. h. es müssen bei 1·428 Volt, also 20° C., 142800 Ohm vorgeschaltet werden. Man kann die Normalelemente ohneweiters an Elektrometer oder Kondensatoren anschließen oder in solchen Schaltungen verwenden, bei welchen die Stromstärke den Wert 0·01 Milliampère nicht erreicht. Wohl besitzen wir genaue Normalien für Widerstände und sind in der Lage mit den Voltametern exakte Strommessungen durchzuführen, vollkommen zuverlässige Normalien für die Spannung jedoch bestehen nicht. Am sichersten ergibt die Spannung das Ohm'sche Gesetz aus einer Widerstands- und aus einer Strommessung.

Die besten Quellen für konstante, insbesondere aber für starke Ströme sind die Accumulatoren.

V. Kapitel.
Messinstrumente.

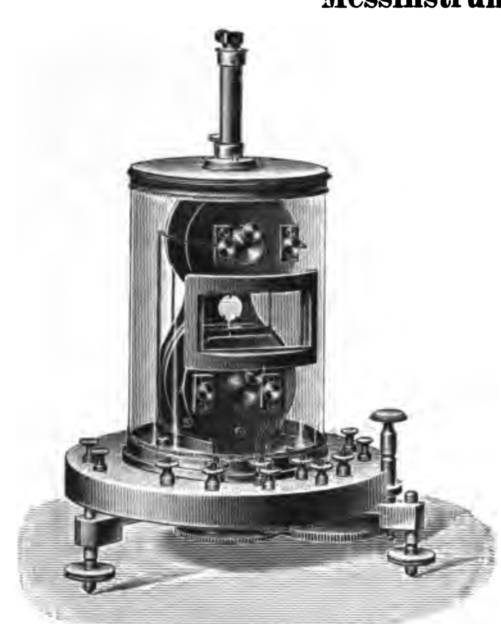


Fig. 4. Astatisches Spiegel-Galvanometer nach Siemens & Halske.

21. Eintheilung:

I. Wissenschaftliche und technische Galvanometer.

II. Industrielle Galvanometer.

III. Elektrische Arbeitsmesser (Elektricitätszähler).

I. Wissenschaftliche und technische Galvanometer.

22. Astatisches Spiegelgalvanometer nach Siemens & Halske, Fig. 4 bis 8. Diese Konstruktion ist ein möglichst vollkommenes Thomson'sches Galvanometer und kann wohl mit Recht als eines der vorzüglichsten Präcisions-Messinstrumente bezeichnet werden. Fig. 4 gibt ein perspektivisches Bild desselben Galvanometers wieder. Aus demselben ersieht man den Aufbau des Instrumentes. Auf einer Ebonitplatte steht das Gehäuse. Dasselbe besteht aus einem Glascylinder, welchen je ein Messingdeckel oben und unten

abschließt, so dass die innere Einrichtung sichtbar ist. Die wesentlichsten Theile der letzteren sind zwei Spulenpaare und ein astatisches

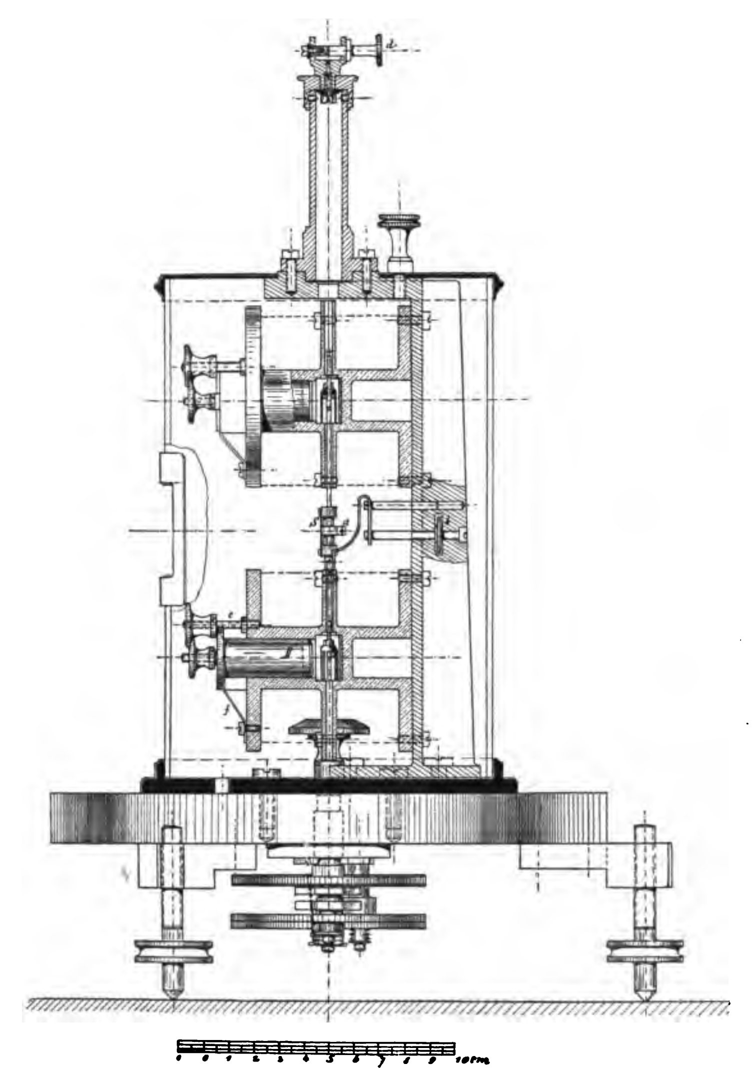


Fig. 5. Schnitt durch die vertikale Achse des Spiegelgalvanometers nach Siemens & Halske.

System, zusammengesetzt aus zwei Glockenmagneten (I. B., S. 29, Fig. 20 *b*) und einem Spiegel. Im Bilde Fig. 4, ist nur der Spiegel als weiße Kreisfläche im schwarzen Felde ersichtlich. Je zwei Schrauben links und rechts auf der Grundplatte dieser Figur, befestigen ein unterhalb

derselben befindliches System zweier Richtmagnete. Die vorne auf derselben Platte ersichtlichen acht Schrauben-Klemmen führen zu acht Enden der vier getrennten Wickelungen der Spulen, die hier beliebig geschaltet werden können. Fig. 5 stellt einen Schnitt durch die Vertikalachse des Instrumentes dar. Auf der Ebonitplatte ist der untere Messingdeckel aufgeschraubt und auf diesem der Messingträger für den Oberbau. An dem Messingträger sind die Spulen für die Windungen aufmontirt, innerhalb welcher das astatische System an dem bei *d* befestigten Coconfaden hängt. Die beiden Glockenmagnete sind durch ein Messingstäbchen fest verbunden, welches den durch die Schraube *a* verstellbaren Spiegel trägt. Hinter dem Spiegel *S* befindet sich eine Gabel, welche die Bewegungen des astatischen Systemes begrenzt und mit Hilfe der Schraube *b* die Arretierung des Instrumentes gestattet. In den Messinghülsen der Spulen stecken Dämpfer *D* aus Kupfer und Messing; dieselben lassen sich nach Lösung der Schraube *e* verstellen und können beim Transport durch die Schraube *c* leicht gegen die Glockenmagnete angedrückt werden. Die auf dem oberen Messingdeckel, welcher den Glascylinder oben begrenzt, befindliche große Schraube gewährt das Abheben desselben, das leichte Demontieren des Instrumentes, die Arretierung und das Austauschen der Spulen gegen solche mit

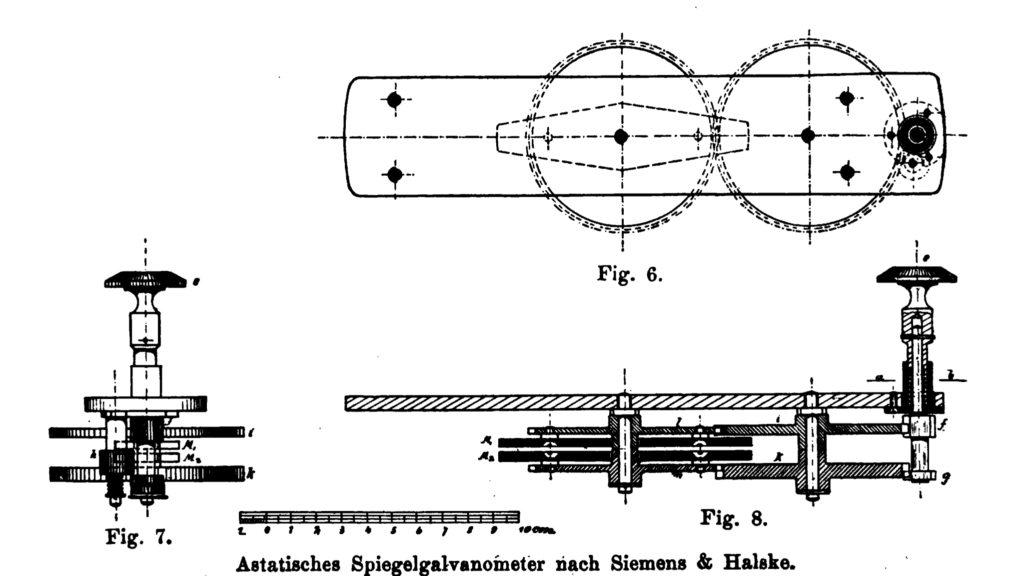


Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Astatisches Spiegelgalvanometer nach Siemens & Halske.

Fig. 6. Grundriss der Richtmagnete.

Fig. 7. Seitenansicht vom Druckknopfe *e* aus gesehen.

Fig. 8. Schnitt durch die Längsachse der Richtmagnete.

anderen Windungszahlen und Drahtstärken, um das Instrument den verschiedensten Zwecken anpassen zu können. Sämmtliche Figuren, Fig. 4 bis 8, zeigen das System der Richtmagnete, welches unterhalb der Grundplatte angeordnet ist. Als Richtmagnete dienen zwei gleichgroße, ganz gering magnetisierte Stabmagnete M_1 M_2, Fig. 7 und 8; dieselben sind durch ein Triebwerk aus Zahnrädern beliebig dreh- und kreuzbar eingerichtet. Der Magnet M_1 ist mit dem Rade l, der Magnet M_2 mit dem Rade m fest verbunden, so dass beide Magnete mit einander und gegeneinander verstellbar sind. Fig. 8 zeigt, wie die Räder l, i und f einerseits und m, k und g andererseits ineinander greifen. Mit dem randrierten Knopfe e kann man die an seinem Bolzen befestigten Räder f und g drehen und damit sämmtliche Räder und beide Magnete gleichzeitig um die vertikale Achse des Galvanometers drehen, ohne dass die Magnete gegeneinander verstellt werden. Drückt man dagegen den Knopf e, so greift das Rad f immer noch mit seinem oberen Rande in das Rad i ein und dreht den Magnet M_1 in derselben Richtung als früher, dieses Rad f greift jedoch jetzt gleichzeitig in das Rad h, Fig. 7, ein und letzteres in das Rad k, so dass jetzt das Rad m und mit ihm der Magnet M_2 in der entgegengesetzten Richtung gedreht wird. Drückt man daher auf den Knopf e, so werden die beiden Magnete M_1 und M_2 gegeneinander verdreht (gekreuzt).

In Verbindung mit dem astatischen Galvanometer findet man bei Messmethoden den Universalwiderstandskasten nach Siemens & Halske, Fig. 9. In einem Kasten sind immer von links nach rechts aufeinanderfolgend die nachbenannten drei Reihen von Widerständen in Ohm aufmontiert:

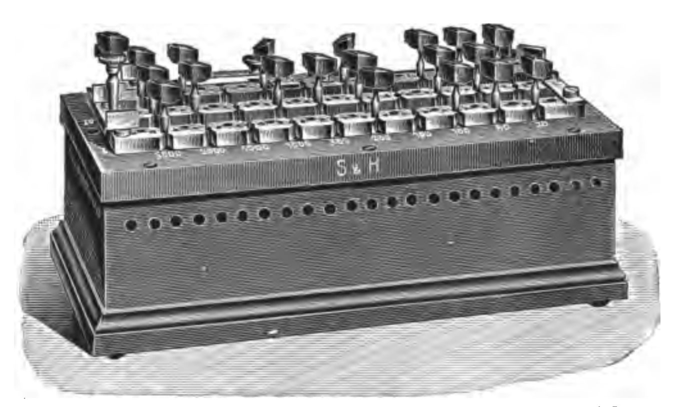


Fig. 9. Universalwiderstandskasten nach Siemens & Halske.

1, 10, 100, 1000, 100, ∞, 1000, 100, 10 und 1.
0·1, 0·2, 0·2, 0·5, 1, 1, 2, 5, 10 „ 10.
5000, 2000, 1000, 1000, 500, 200, 100, 100, 50 „ 20.

Eine Taste dient zum Einschalten einer Batterie, eine zweite Taste

zum Einschalten eines Galvanometers. Der Apparat wird vorzugsweise zur Messung von Widerständen nach der Brückenmethode (I. B., S. 36, § 45) von 0·1 bis 10^6 Ohm benutzt; seine Messgrenzen sind 0·0001 Ohm (bei dem Verhältnisse der Vergleichswiderstände 1 : 1000) und 5.10^6 Ohm (bei dem Verhältnisse der Vergleichswiderstände 1000 : 1). Dabei dienen die eine Hälfte der Widerstände der ersten Reihe als b, die andere Hälfte dieser Widerstände als a und die Widerstände der zweiten und dritten Reihe als r; es ist dann sowie bei der Brückenmethode (I. B., S. 36) $x = \frac{b}{a} . r$. Falls sich die zu messenden Widerstände x nicht unmittelbar an die Klemmen schalten lassen, dann muss der Widerstand der Zuleitungsdrähte von dem zu messenden Widerstande subtrahiert werden. Einige beigegebene Stöpsel, welche zu obiger Widerstandsmessung nicht erforderlich sind, dienen zur Bestimmung von Batteriewiderständen, elektromotorischen Kräften u. s. w.

23. Das Universalgalvanometer nach Siemens & Halske ist das gebräuchlichste Universalmessinstrument und dient, seiner Bezeichnung entsprechend, zur Messung, beziehungsweise Vergleichung sämmtlicher Konstanten des elektrischen Stromes (Stromstärke, elektromotorische Kraft, Widerstand).

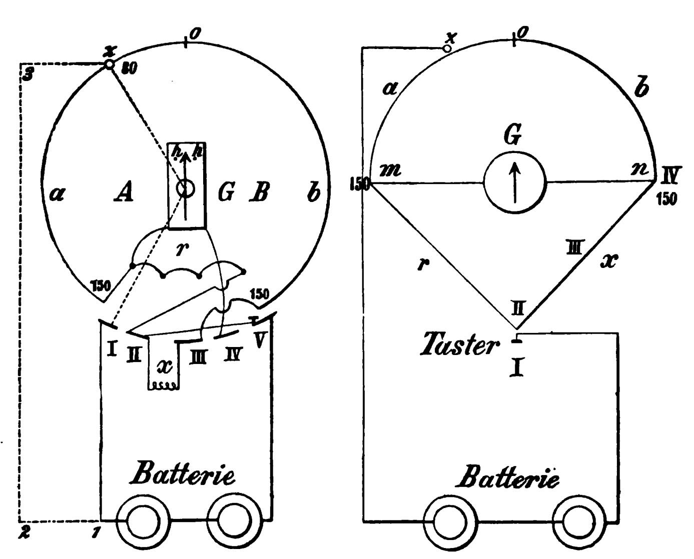


Fig. 10. Universalgalvanometer. Widerstandsschaltung. Fig. 11.

Die wichtigsten Bestandtheile dieses in Fig. 10 abgebildeten Instrumentes sind die folgenden:

1. Das Galvanometergewinde *G* mit der astatischen Magnetnadel *n s* und den Hemmungen *h h* zu beiden Seiten der Nadel zur Begrenzung des Ausschlages.

2. Messingene Klötzchen bei *r* und I, II, III, IV und V, an welche die verschiedenen Widerstände angeschlossen sind.

3. Eine kreisförmige Schieferplatte *a b*, mit einem 60° umfassenden Ausschnitte. Der Umfang (Peripherie) der Platte, 300° messend, enthält in einer Fuge den sogenannten Messdraht (Platindraht).

4. Eine hölzerne Scheibe unter der Schieferplatte *a b*, welche mit dem Galvanometergewinde in fester Verbindung steht. In der Nut dieser Scheibe sind die Widerstände 1, 10 und 100 (10, 100 und 1000) Ohm aufgewickelt.

5. Ein Centralzapfen, welcher als Drehungsachse des Instrumentes dient und mit 3. und 4. fest verbunden ist.

6. Ein Zeiger (Alhidade) *z*, drehbar um 5.

7. Ein Postament, bestehend aus einer größeren kreisförmigen Scheibe mit 3 Stellschrauben.

8. Der Taster, durch welchen die Batterie eingeschaltet werden kann.

Für sämmtliche Messungen erhält das Universalgalvanometer folgende Anfangsstellung:

1. Horizontalstellung mittelst der 3 Stellschrauben; die Mitte der Magnetnadel muss sich genau in der Mitte des Instrumentes befinden.

2. Drehung der Schiefertafel, bis die Magnetnadel auf die Nullpunkte ihrer Theilung zeigt.

3. Einstellung des Zeigers *z* auf den Nullpunkt der Kreistheilung der Schieferplatte. Arbeitet man mit stärkeren Strömen, so verbindet man die Batterie anstatt mit I, mit der Alhidade, um störende Einflüsse des Stromes auf die Magnetnadel zu vermeiden.

Die Schaltungen im Instrumente zeigen die Schemen, Fig. 10 und 11.

Zu dem Universalgalvanometer gehören weiters:

1. Ein Batteriewähler, Fig. 12, welcher gestattet, mehr oder weniger Elemente einzuschalten.

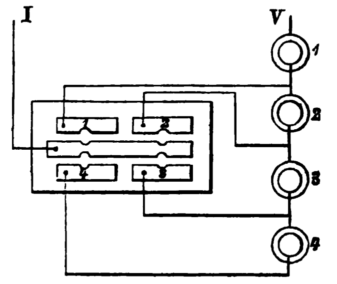
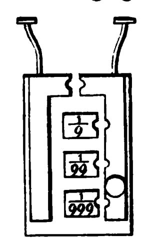


Fig. 12. Batteriewähler.

2. Ein Widerstandsstöpsel mit 0·1 Ohm; derselbe wird im Bedarfsfalle in die Öffnung 1 oder 10 gesteckt, je nachdem das Instrument die Vergleichswiderstände 1, 10, 100 oder 10, 100, 1000 Ohm besitzt.

3. Ein Widerstandsstöpsel mit 300 Ohm für die Oeffnung zwischen III und IV. Sein Zweck ist die Verminderung der Empfindlichkeit des Galvanometers bei der Messung der Widerstände von Elementen.

4. Ein Widerstandsstöpsel mit 1 Ohm; derselbe wird in dieselbe Öffnung gesteckt, wie der Stöpsel mit 0·1 Ohm.


Fig. 13. Nebenschlusswiderstand.

5. Ein Nebenschlusswiderstand mit $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$ Ohm, Fig. 130, zur Veränderung der Empfindlichkeit bei Strommessungen (I. B., §. 44, S. 36); derselbe wird an den Klemmen II und IV angeschraubt.

1. Messung von Drahtwiderständen.

Die Schaltung 1, 2, 3, *z*, Fig. 10, wird statt der Schaltung 1, *I*, G, *z* angewendet, wenn man mit stärkeren Strömen, welche die Magnetnadel beeinflussen, arbeitet. Die Verbindungen für die Widerstandsmessungen sind aus der Schemen Fig. 10 und 11 ersichtlich.

a) Der zu messende Widerstand wird bei II und III (oder IV) eingeschaltet.

b) Die Pole der Messbatterie sind an die Klemmen I und V anzuschließen.

c) Die Öffnung zwischen III und IV ist zu stöpseln.

d) Eine der Öffnungen 1, 10, 100 (oder 10, 100, 1000) wird geöffnet oder die Öffnung 1 (oder 10) mit dem Vergleichswiderstande 0·1 oder 1 Ohm gestöpselt. Es wird jener Vergleichswiderstand gewählt, der dem zu messenden Widerstande vermuthlich am nächsten liegt.

e) Die Magnetnadel und der Zeiger werden auf ihren Nullpunkt eingestellt. Durch das Drücken auf den Taster *T*, Fig. 10 und 11, zeigt die Nadel einen Ausschlag, welcher durch das Verschieben des Zeigers *z* nach links oder rechts ausgeglichen wird. Da das Universalgalvanometer, wie Fig. 11 zeigt, auf der im I. B., §. 45, S. 36 besprochenen Brückenmethode beruht, so gilt für dasselbe die dort abgeleitete Formel:

$$x = \frac{b}{a} . r,$$

worin x = dem zu messenden Widerstande,
b = dem Widerstande des Messdrahtes auf der Seite b des Zeigers z, Fig. 10 und 11,
a = dem Widerstande des Messdrahtes auf der Seite a des Zeigers z,

r = dem gewählten Vergleichswiderstande. Anstatt der Widerstände a und b werden die Grade, über welche sich die Widerstände erstrecken, in die Formel eingesetzt, da der Messdraht überall denselben Durchmesser hat und demnach das Verhältnis der Widerstände $\left(\frac{b}{a}\right)$ = ist dem Verhältnisse der Grade $\left(\frac{b}{a}\right)$.

Mit Rücksichtnahme auf die letzte Bemerkung gestaltet sich die Formel $x = \frac{b}{a} r$ in dem in den Fig. 10 und 11 gegebenen Falle folgend:

$$x = \frac{150 + 30}{150 - 30} . r = \frac{180}{120} = 1{\cdot}5\ r.$$

Beispiel: Der Zeiger befindet sich am Theilstriche 50 auf der A-Seite des Intrumentes bei geöffnetem 10 Stöpsel ($r = 10$). Wie groß ist der zu messende Widerstand?

$$x = \frac{b}{a} . r = \frac{150 + 50}{150 - 50} . r = \frac{200}{100} . r = 2\ r = 2 \times 10 = 20.$$

Beispiel: Der Zeiger befindet sich am Theilstriche 26·5 auf der B-Seite des Instrumentes bei gestöpseltem 1 Ohm-Stöpsel. Wie groß ist der zu messende Widerstand?

$$x = \frac{b}{a} . r = \frac{150 - 26{\cdot}5}{150 + 26{\cdot}5} . r = \frac{123{\cdot}5}{176{\cdot}5} . r = 0{\cdot}7\ r = 0{\cdot}7 . 1 = 0{\cdot}7 \text{ Ohm}.$$

Bemerkungen.

1. Je nachdem der positive oder negative Pol der Batterie mit der Klemme I verbunden ist, muss man den Zeiger in der Richtung des Ausschlages der Magnetnadel oder in der entgegengesetzten Richtung verschieben, um die Nadel nach erfolgtem Ausschlage wieder in die Nullstellung zurückzubringen.

2. Die oben bei dem Anschlusse der Batterie an das Klötzchen I, Fig. 10 und 11, erwähnte störende Einwirkung starker Ströme ist dann vorhanden, wenn die Magnetnadel einen Ausschlag gibt, trotzdem bei einer Widerstandsmessung die Nullstellung der Magnetnadel schon erreicht war und nach Ziehen des Stöpsels zwischen III und IV der Taster wieder gedrückt wird.

3. Bei Einstellungen des Zeigers z in der Nähe der Null, sind die Angaben des Instrumentes am genauesten. Diese Einstellungen werden erreicht, wenn der zu messende Widerstand dem Vergleichswiderstande nahezu gleich kommt. Ist dies nicht der Fall, so kann man den zu messenden Widerstand durch einen bekannten Widerstand (Normalwiderstand) einem Vergleichswiderstande nahe gleich machen und braucht

dann nur von dem, aus der Tabelle zum Universalgalvanometer oder aus der Formel für dieses Instrument ($x = \frac{b}{a} r$), sich ergebenden Widerstande den Normalwiderstand abzuziehen. Sollte z. B. ein Widerstand von 6 Ohm gemessen werden, dann zieht man den Stöpsel 10 (Vergleichswiderstand 10) und schaltet zu dem zu messenden Widerstande von 6 Ohm bekannte 4 Ohm. Stellt man nun die Magnetnadel auf ihren Nullpunkt, so muss auch der Zeiger z auf 0 stehen. Nach der Tabelle ist dann der gesammte Widerstand = 10 Ohm und der zu messende Widerstand = 10 — 4 = 6 Ohm.

4. In der Nähe des Galvanometers bewirken Ströme und bewegte Eisenmassen einen Ausschlag der Nadel; dieser Umstand ist sowohl bei Aufstellung des Instrumentes, als auch bei den Messungen selbst zu berücksichtigen, denn schon die kleinsten Eisenbestandtheile, die der Messende mit sich trägt, bewirken eine Störung.

2. Bestimmung des Widerstandes von Elementen und Batterien.

Die Schaltung ist wieder die in den Fig. 10 und 11 skizzierte; anstatt des Widerstandes x wird das Element oder die Batterie eingeschaltet.

Ist der Widerstand einer Batterie zu messen, so schaltet man die Elemente derselben in 2 Hälften gegen einander; dann zeigt die Nadel ohne Drücken des Tasters nur einen geringen Ausschlag.

Bei Batterien mit einer ungeraden Zahl von Elementen ist der eine Theil der gegeneinander zu schaltenden Elemente um ein Element stärker als der andere. In diesem Falle, sowie bei der Messung eines einzelnen Elementes, erhält man einen zu großen Ausschlag der Nadel und ersetzt deshalb den Stöpsel zwischen III und IV durch den Widerstandsstöpsel von 300 Ohm. Legt sich auch dann die Nadel gegen die Hemmungen h, h Fig. 10, so dreht man das Galvanometer der Nadel nach, bis sie frei ist. Dasselbe wird durch Annäherung eines Magnetes erreicht.

Der Ausschlag der Nadel kann beliebig sein. Man verschiebt den Zeiger z, Fig. 10, so lange, bis mit und ohne Drücken des Tasters der Ausschlag derselbe bleibt; der Widerstand wird dann auf dieselbe Art berechnet, wie der eines Drahtes.

Bei sämmtlichen Widerstandmessungen hängt die Genauigkeit der Messung von der Messbatterie ab. Die Messbatterie muss stark genug sein, um bei geringer Verschiebung des Zeigers einen merklichen Ausschlag hervorzurufen.

Falls nicht genügend Elemente zur Verfügung stehen, schwingt die Nadel bei der Messung großer Widerstände träge; dann empfiehlt es sich, nach erreichter Nullstellung derselben mit dem Zeiger von

seiner Stellung aus gleich weit nach beiden Seiten zu gehen und zu beobachten, ob die Nadel den entgegengesetzten Bewegungen des Zeigers folgt. Bei erreichter Nullstellung der Nadel erhält man durch wiederholtes Drücken des Tasters keinen Ausschlag, wenn der zu messende Widerstand induktionsfrei ist; wird aber in dem zu messenden Widerstande, der z. B. aus vielen neben- und übereinander gewickelten isolierten Drähten besteht (Magnetbewickelung einer Dynamo u. s. w.), durch das Schließen und Öffnen der Messbatterie ein Strom induciert, so erhält man durch das Drücken und Loslassen des Tasters je einen der Stärke des Induktionsstromes entsprechenden Ausschlag; in diesem Falle muss man den Messstrom während der ganzen Messung geschlossen erhalten und den Zeiger sehr langsam verschieben, um Induktionsströme thunlichst zu vermeiden.

3. Fehlerbestimmung an Leitungen.

Die Anordnung der Messung fehlerhafter Leitungen zeigt Fig. 14; *G* deutet das Universalgalvanometer an. Bei dieser Messung[1]) kommt es

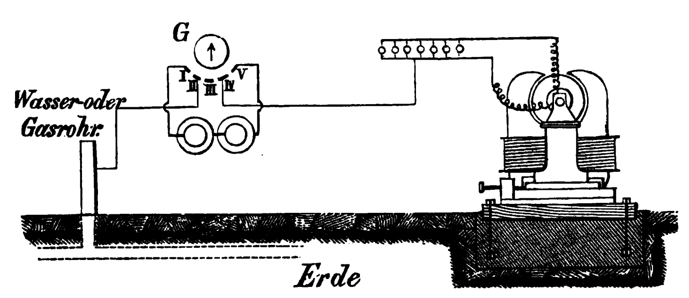


Fig. 14. Messung des Widerstandes zwischen dem Kupfer der Leitungen und zwischen der Erde.

vor, dass aus der Leitung und der Erde ein Strom durch das Instrument fließt (das Kupfer der Leitung und das Eisen der Erde bilden z. B. ein Element) und die Nadel einen Ausschlag gibt. In diesem Falle bilden Leitung und Erde ein Element und man misst so wie unter 2.

4. Vergleichung zweier elektromotorischer Kräfte E_1 und E_2.

a) Die Schaltung für diese Messung ist schematisch in den Fig. 15 und 16 dargestellt.

b) Nadel und Zeiger werden auf Null eingestellt.

---

[1]) Diesen Fall, seine Erklärung und die Art der Messung in demselben Falle fand ich im Jahre 1878.

c) Die Öffnung zwischen III und IV ist offen, die Öffnungen 1, 10, 100, (oder 10, 100, 1000) sind gestöpselt.

d) Ein Element von großer elektromotorischer Kraft E_0 und geringem Widerstande (gr. Bunsen-Element oder mehrere parallel geschaltete Daniell-Elemente) werden an die Klemen III und V und eines der zu vergleichenden Elemente (E oder E_2), z. B. E_1, an die Klemmen I und IV angeschlossen. Man sucht die Stellung des Zeigers, bei welcher die Nadel nach Drücken des Tasters T auf Null bleibt; diese Stellung sei z. B. bei 20 Graden auf der A-Seite erreicht.

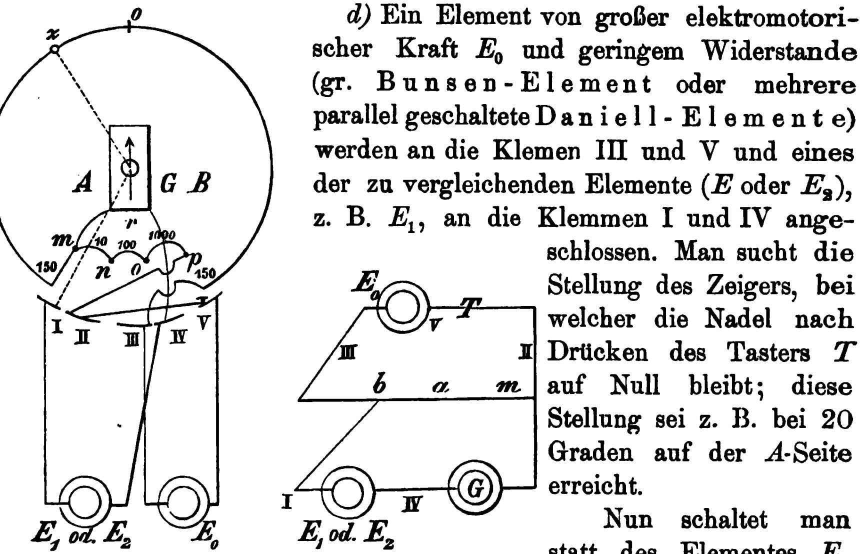


Fig. 15. Universalgalvanometer. Fig. 16. Vergleichung elektromotorischer Kräfte.

Nun schaltet man statt des Elementes E_1 das Element E_2 an die Klemmen I und IV und führt dieselbe Messung aus; die neugefundene Stellung sei bei 30 Graden auf der A-Seite gelegen. Dann ist

$$E_1 = \frac{150-20}{150-30} E_2.$$

Für dieselben Ablesungen auf der B-Seite wechseln die Vorzeichen der abgelesenen Grade; für diesen Fall gilt demnach die Gleichung:

$$E_1 = \frac{150+20}{150+30} E_2.$$

5. Strommessung.

1. Die Schaltung zeigen Fig. 17 und 18.
2. Nadel und Zeiger sind auf Null zu bringen.
3. Die Öffnung zwischen III und IV ist offen, die Löcher 1, 10, 100 sind gestöpselt.
4. Die beiden Enden des Stromkreises, dessen Stromstärke zu messen ist, werden an IV und V angeschlossen.

Schlägt die Nadel aus, so dreht man das Galvanometer derselben nach, ohne den Zeiger z zu verstellen, so lange bis die

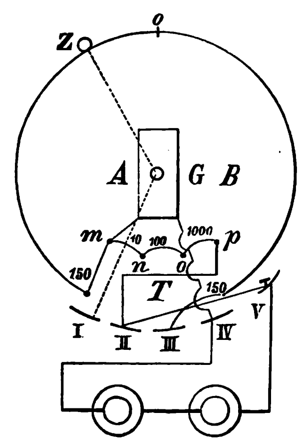


Fig. 17. Schema der Strommessung mit dem Universalgalvanometer.

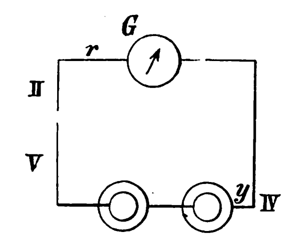


Fig. 18. Einfachstes Schema der Strommessung mit dem Universalgalvanometer.

Nadel auf Null steht; zeigt der Zeiger jetzt auf 45⁰, so ist die Stromstärke J = Reduktionsfaktor . . *sin* 45⁰ oder allgemein: J = Reduktionsfaktor . *sin* α.

Den Reduktionsfaktor berechnet man aus der letzten Gleichung:

$$\text{Reduktionsfaktor} = \frac{J}{\sin 45^0}.$$

Die Größen J und *sin* α ergeben sich durch Versuche, indem man das Instrument in einen Stromkreis von bekannter elektromotorischer Kraft E und bekanntem Widerstande W einschaltet und den bei der Endstellung eingestellten Winkel α misst. Der Widerstand des Instrumentes sei W_1.

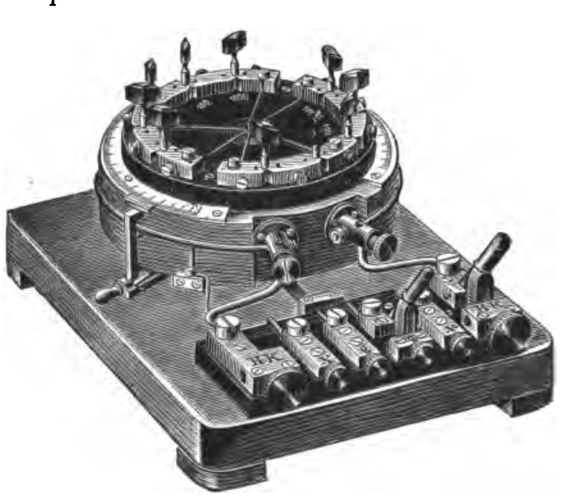
Es ist dann bei 45⁰ Ablesung:

$$J = \frac{E}{W + W_1} \text{ und } \sin 45^0 = 0{\cdot}70711.$$

Einige Mängel dieses Instrumentes beseitigt das Neue Universalgalvanometer[1]) derselben Firma.

24. Messbrücke für sehr kleine Widerstände von Siemens & Halske[2]), Fig. 19.

Diese Messbrücke ist eine Modifikation der sogenannten Thomson'schen Doppelbrücke; sie zeichnet sich namentlich da-


Fig. 19. Messbrücke für sehr kleine Widerstände nach Siemens & Halske.

[1]) A. Raps, Elektrotechnische Zeitschrift 1897, S. 197 ff.
[2]) Vgl. die Beschreibung dieser Firma.

durch aus, dass die Messung unabhängig ist von den Übergangs-Widerständen, welche zwischen dem zu messenden Widerstande und den Strom zuführenden Theilen der Schaltung auftreten; da diese Übergangswiderstände das hauptsächliche Hindernis der Messung sehr kleiner Widerstände bilden, so bietet diese Methode den einzigen Weg, um solche Widerstände zu bestimmen.

Wesen. Die Art der Schaltung und Messung zeigen die Fig. 23, I. B. und 20. Der Hauptstromkreis (*HK*) wird durch eine Batterie *B*, einen Taster *C*, einen Normaldraht *D* und den Körper *W*, welcher den zu messenden Widerstand *X* (zwischen *b* und *b*) enthält, gebildet. An zwei Punkte des Normaldrahtes (*o* und *e*) und an die Endpunkte (*bb*) des zu messen-

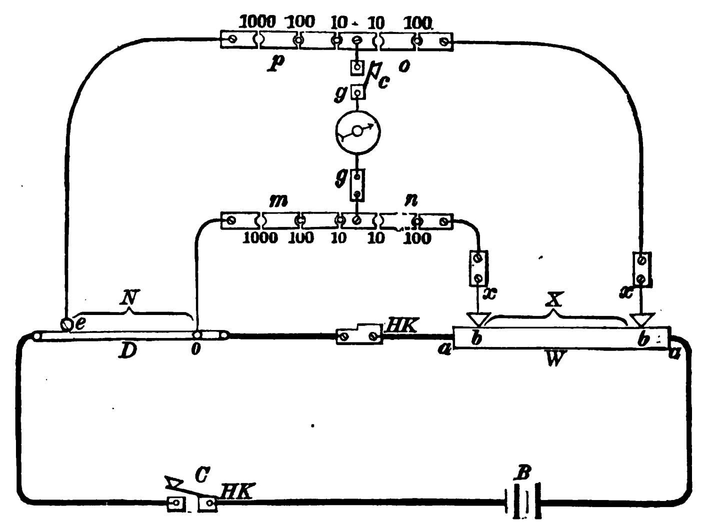


Fig. 20. Einfaches Schaltungsschema zur Messbrücke für sehr kleine Widerstände nach Siemens & Halske.

den Widerstandes werden Stromzweige (*po*, *mn*) angelegt; zwischen diese Stromzweige sind das Spiegelgalvanometer *gg* und der Taster *c* eingeschaltet. In den Zweigen *m*, *n*, *o*, *p* lassen sich nur dekadische Widerstände einschalten.

Ist der Widerstand $m = n$, ferner $p = o$, so herrscht im Galvanometer der Strom Null, wenn der Widerstand *N* zwischen *e* und *o* am Normaldrahte *D* gleich dem Widerstande *X* ist (I. B., §. 46, S. 38):

$$N = X$$

Der Widerstand *N* ist durch einen Laufkontakt von Null bis zu einem Maximalwerte veränderlich gemacht; es können also auf diese Weise Widerstände bis zu diesem Maximalwerte gemessen werden. Sind die Widerstände *N* und *X* sehr verschieden, so dass obige Messungsart ungenau ausfällt, so wählt man die Widerstände *m*, *n*, *p*, *o* ebenfalls

verschieden, jedoch stets so, dass $\frac{n}{m} = \frac{o}{p}$ ist. Alsdann herrscht im Galvanometer der Strom Null, wenn (I. B., §. 46, S. 38)

$$X = N\frac{n}{m} = N\frac{o}{p}.$$

Da die Verhältnisse $\frac{n}{m}, \frac{o}{p}$ nur dekadische Werte annehmen können, und der Widerstand N direkt in Ohm angegeben ist, so sind die Ziffern der Zahlen X und N dieselben, nur das Komma wird durch den Wert des Verhältnisses $\frac{n}{m}$ oder $\frac{o}{p}$ bestimmt.

Anwendungen. Die wichtigsten Anwendungen des Apparates bestehen in der Widerstandsmessung von Dynamomaschinen, Kupferlitzen und Kabeln von starkem Querschnitte, Drähten und Stäben zur Bestimmung ihrer Leitungsfähigkeit.

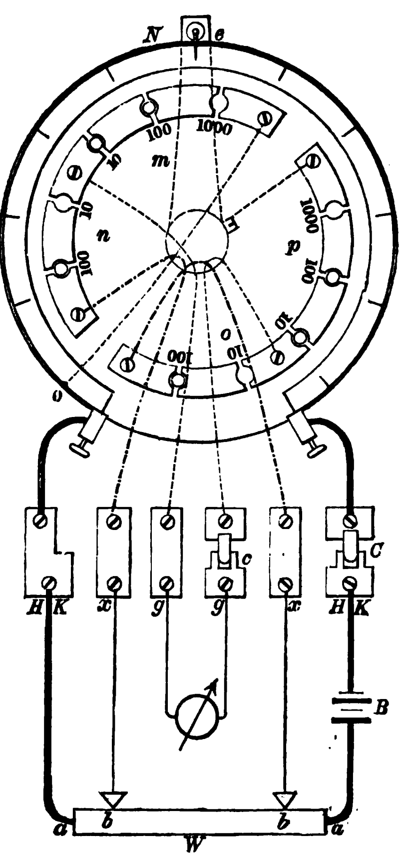


Fig. 21. Schaltungsschema zur Messbrücke für sehr kleine Widerstände nach Siemens & Halske.

Konstruktion. Der Messdraht D aus dickem Neusilber oder Nickelin ist kreisförmig ausgespannt und zur Hälfte in eine am Rande eines Holzsockels eingedrehte Nut gebettet; derselbe wird von einem Kontaktröllchen e bestrichen, dessen Lagerstück ein um die Achse des Instrumentes drehbarer, horizontal liegender Arm trägt. Der Ort der Berührung zwischen Röllchen und Messdraht wird mittelst Nonius an einer auf der Fläche des Holzsockels angebrachten Theilung abgelesen.

Ein zweiter Kontakt befindet sich bei dem Nullstriche o der Theilung und ist mit dem Messdrahte fest verbunden. Die Widerstandsrollen (m, n, o, p) sind kreisförmig in demselben Holzsockel angeordnet; die Klemmen und Taster befinden sich, in einer Reihe nebeneinander, vorne an dem Fußbrette.

S c h a l t u n g. Die Verbindungen der Klemmen auf dem Fußbrette mit dem Messdrahte und den Widerstandsrollen sind aus den Figuren 20 und 21 ersichtlich.

Im Hauptstromkreise (*HK*) sind die Batterie *B* (2 bis 4 B u n s e n-E l e m e n t e), der Kontakthebel *C*, der Messdraht *N* und der zu messende Widerstand *W* hintereinander geschaltet. Die Leitungen *x x* müssen mittelst geeigneter Klemmen an die Pnnkte *b b* geführt werden, zwischen welchen sich der Widerstand, welcher zu messen ist, befindet. Die Messung gibt nur den Widerstand des zwischen diesen Klemmen liegenden Stückes *X* an. Die Klemmen *g g* sind mit einem, durch den Hebel *c* ein- und ausschaltbaren, Spiegelgalvanometer von geringem Widerstande verbunden. Dasselbe ist in einiger Entfernung von den Leitungen des Hauptstromkreises aufzustellen, so dass durch letzteren der Spiegel nicht beeinflusst wird.

Will man z. B. den Widerstand des Ankers einer Dynamomaschine messen, so legt man die Hauptleitungen (*aa*) an die Achsen des Bürstenträgers *aa*, Fig. 22, die Leitungen (*xx*) an die Bürstenklemmen *bb*, man hat dann den Ankerwiderstand einschließlich des Übergangswiderstandes der Bürsten gemessen. Soll der Ankerwiderstand mit Ausschluss dieses Übergangswiderstandes bestimmt werden, so legt man die Hauptstromleitungen ebenfalls in *aa* an, die Zweigstromleitungen *xx* dagegen an dieselben Lamellen des Kommutators $b^1 b^1$, Fig. 22, auf welchen die Bürsten liegen.

M e s s u n g. Die Widerstände in den Zweigen *m*, *n*, *o* und *p* sind so zu wählen, dass das dem Gleichgewichte entsprechende Stück *N* des Messdrahtes möglichst groß ausfällt. Das Widerstandsverhältnis $\frac{o}{p}$ muss stets dem Verhältnisse $\frac{n}{m}$ gleich sein. Der Widerstand des ganzen Messdrahtes beträgt ungefähr 0·01 O h m, der Widerstand des bei der Messung eingeschalteten Stückes desselben wird an der Theilung direkt in O h m abgelesen. Man stellt zunächst den Laufkontakt *e* auf 0·00 O h m, schaltet die Batterie (Taster *C*) dann das Galvanometer (Taster *c* ein und erhält einen Ausschlag des Spiegels. Nun variiert man in *n* und *o* und in *m* und *p* die Widerstände unter Berücksichtigung obiger Bemerkung bezüglich ihres Verhältnisses, bis der Ausschlag

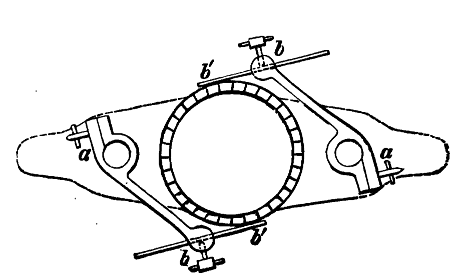


Fig. 22. Messung des Widerstandes eines Induktors einer Dynamo.

des Spiegels die entgegengesetzte Richtung annimmt. Durch Verschiebung des Kontaktes e am Messdrahte wird alsdann eine Stellung desselben gefunden, bei welcher das Galvanometer keinen Strom anzeigt.

Wenn N der am Messdrahte abgelesene Widerstand und X der zu messende Widerstand sind, muss:

$$X = N \frac{n}{m} = N \frac{o}{p}.$$

Hat man z. B. $n = o = 10$, $m = p = 1000$ gestöpselt und ist $N = 0{\cdot}0053$ Ohm, so muss:

$$X = 0{\cdot}000053 \text{ Ohm sein.}$$

Ändert sich weder durch Variieren der Zweigwiderstände, noch durch Verstellung des Kontaktes e der Sinn des Ausschlages, so ist der zu messende Widerstand entweder größer als 0·1 Ohm, oder kleiner als 0·000001 Ohm. Das Erstere findet statt, wenn der Ausschlag bei dem größten Werte des Verhältnisses m der schwächste ist, das Letztere, wenn der schwächste Ausschlag bei dem kleinsten Wert von $\frac{n}{m}$ erfolgt. Es lassen sich mittelst der Brücke Widerstände von 0·000001 Ohm bis 0·1 Ohm messen.

Bestimmung der Leitungsfähigkeit. Kennt man bei einem Metallstücke den Widerstand W_t in Ohm einer Länge L in Metern, den Querschnitt Q in Quadratmillimetern und beobachtet man die Temperatur t desselben in Graden Celsius, so kann man die Leitungsfähigkeit K bei 0° C. im Verhältnisse zu Quecksilber berechnen.

Es ist (I. B., S. 17): $K = \frac{1}{C} = \frac{L}{W_0 \, Q}$ oder in Siemens-Einheiten umgerechnet, da wir die Leitungsfähigkeit auf Quecksilber bezogen bestimmen wollen (I. B., S. 107): $K = \frac{L}{1{\cdot}063 \, W_0 \, Q}$ und weil (I. B., S. 108) $W_t = W_0 (1 + \alpha t)$ oder $W_0 = \frac{W_t}{1 + \alpha t}$. Diesen Wert in die vorletzte Formel eingesetzt erhalten wir $K = \frac{L(1 + \alpha t)}{1{\cdot}063 \, W_t \, Q}$.

Hier wird bei einfachen Metallen für α der Wert 0·004 (I. B., S. 109) benützt; bei Metallegierungen hat dieser Koëfficient andere Werte.

Beispiel: Ein Kupferstab, dessen Widerstand auf 0·90 Meter Länge = 0·000159 Ohm gefunden wurde, hat einen Querschnitt von 98 mm^2. Die Temperatur desselben betrug bei der Messung 20° C.; seine Leitungsfähigkeit ist demnach:

$$K = \frac{0{\cdot}90\,(1 + 0{\cdot}004 \times 20)}{1{\cdot}063 \times 0{\cdot}000159 \times 98} = 58{\cdot}8.$$

25. Einfachste Messbrücke.

Für oberflächliche Widerstandsmessungen benützt der Installateur und Monteur einen auf einem Brettchen befestigten Messdraht *CD*, Fig. 23, sammt dem Zeiger *z*, ein Galvanometer *G*, einen dem zu messenden Widerstande ungefähr gleichen Vergleichswiderstand *W* und Elemente *E* und schaltet Messdraht, Galvanometer, Vergleichswiderstand, zu messenden Widerstand und Elemente ebenfalls nach dem Schema der Brückenmethode (I. B., S. 36, § 45).

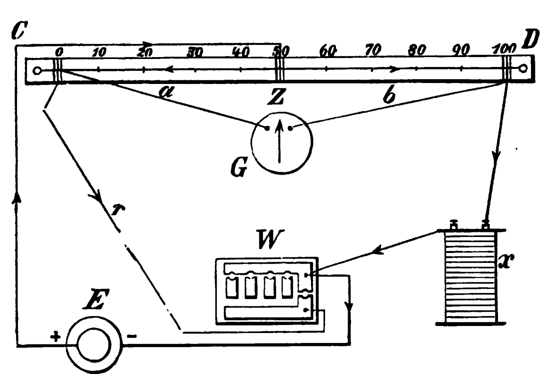


Fig. 23. Einfachste Meßbrücke.

Die Rolle x deutet den zu messenden Widerstand an. Die Messung wird bei sämmtlichen Instrumenten, welche das Schema der Brückenmethode befolgen, in derselben Weise vorgenommen wie bei dem Universalgalvanometer von Siemens & Halske.

26. Das Torsionsgalvanometer von Siemens & Halske (O. Frölich) ist für direkte Messungen der Spannungsdifferenzen vorzüglich geeignet; indirekt lassen sich mit diesem Instrumente auch Stromstärken, elektromotorische Kräfte und Widerstände bestimmen.

Zu den wichtigsten Bestandtheilen des Torsionsgalvanometers Fig. 24, zählen:

1. Das Galvanometergewinde *G*, Fig. 24, und der Glockenmagnet *M*, Fig. 20 b, I. B., u. 24, ein an beiden Seiten aufgeschlitzter Hohlcylinder aus Stahl. An dem Glockenmagnete ist oben ein dünnes Stäbchen *t* mit einem messingenen Scheibchen *s* angebracht. An letzterem sind befestigt:

a) Ein Coconfaden.

b) Eine den Coconfaden umschließende Drahtspirale *d*, welche einerseits bei *s*, andererseits an das Knöpfchen *k* angeschlossen ist.

c) Der Magnetzeiger *m*, dessen Drehung auf einer Kreistheilung abgelesen werden kann, mit Hemmungen zu beiden Seiten des Nullpunktes.

2. Das Knöpfchen *k* ist fest verbunden mit dem Torsionszeiger *T*.

3. Das Brettchen *b*, welches das Galvanometergewinde trägt; dasselbe ist um einen senkrechten Zapfen, der auf einem dreiarmigen Fußgestelle steht, drehbar. Auf diesem Brettchen steht auch das Gehäuse des Galvanometers mit der Kreistheilung *R*.

Fig. 24. Schema des Torsionsgalvanometers nach Siemens & Halske.

Aufstellung.

1. Das Torsionsgalvanometer wird entfernt von der Dynamomaschine und den Hauptleitungen aufgestellt.

2. Der mit *N* bezeichnete Pol muss ungefähr nach Norden gerichtet werden.

3. Die in das Holz führende Schraube wird gelöst und das Instrument mit den drei Stellschrauben so eingestellt, dass die Spitze, die am unteren Ende des Magnetes hervorragt, über dem Schnittpunkte des darunter angebrachten Kreuzes hängt.

4. Der Torsionszeiger *T* wird mit der großen randrierten Schraube *R* auf den Nullpunkt der Theilung eingestellt.

5. Die messingene Schraube am Fußgestell wird gelöst und die Holzplatte solange gedreht, bis der am Magnete befestigte Zeiger (Magnetzeiger *m*) auf Null steht. Die Spitze des Magnetes soll sich etwa $^1/_2$ *mm* über dem Schnittpunkte des Kreuzes befinden.

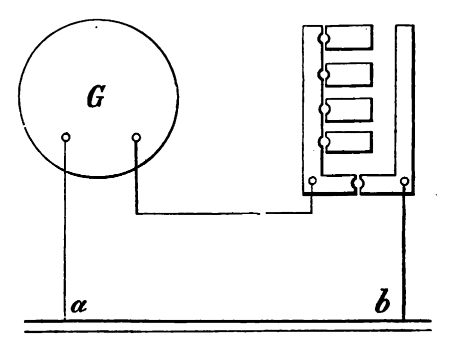


Fig. 25. Strommessung durch Spannungsmessung.

Messung.

In Fig. 25 ist die Schaltung des Instrumentes zur Messung von Spannungen (Spannungsdifferenzen) zwischen zwei Punkten *a* und *b* einer Hauptleitung dargestellt. Bei G wird das Torsionsgalvanometer eingeschaltet.

Der Widerstandskasten zwischen *G* und *b* hat den Zweck, jeder

Messung durch Vorschaltung von Widerständen (9, 99, 999, 9999 Ohm) die passende Empfindlichkeit zu geben.

Fig. 26 gibt die Schaltung eines solchen Widerstandskastens nach Siemens & Halske im Allgemeinen und die Schaltung und Anordnung des neueren Widerstandskastens derselben Firma im Besonderen wieder.

Stöpselt man zwisch. K_1 u. $K_6 K_6$, so ist d. Widerst. $W_1 = 0$ Ohm (Kurzschl.)
„ „ „ K_2 „ „ „ „ „ „ $W_2 = 9$ Ohm „
„ „ „ K_3 „ „ „ „ „ „ $W_3 = 99$ Ohm „
„ „ „ K_4 „ „ „ „ „ „ $W_4 = 999$ Ohm „
„ „ „ K_5 „ „ „ „ „ „ $W_5 = 9999$ Ohm „ .

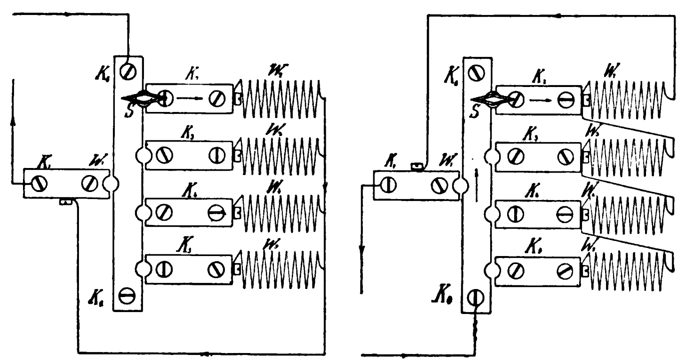


Fig. 26. Schaltungsschemen von Widerstandskästen. Fig. 27.

Bei dieser Schaltung ist demnach immer nur einer der Widerstände W_1 bis W_5 eingeschaltet. Eine andere Schaltung eines solchen Widerstandskastens zeigt Fig. 27.

Stöpselt man zwisch. K_1 u. $K_6 K_6$, dann ist d. Widerst. $W = 0$.
„ „ „ K_2 „ „ „ „ „ „ W_2.
„ „ „ K_3 „ „ „ „ „ „ $W_2 + W_3$.
„ „ „ K_4 „ „ „ „ „ „ $W_2 + W_3 + W_4$.
„ „ „ K_5 „ „ „ „ „ „ $W_2 + W_3 + W_4 + W_5$.

Diese Schaltungs-Art hat gegenüber der obigen den Vortheil, dass die vorhergehenden Widerstände immer wieder mitbenutzt werden, dagegen den Nachtheil, dass wenn die Drähte nicht genügend stark bemessen sind durch längere Verwendung derselben Erwärmung eintreten kann. Der letztere Uebelstand ist bei Drähten, welche den Widerstand mit der Temperatur sehr wenig ändern und welche eine geringe thermoelektromotorische Kraft besitzen, klein.

Bei der Vorschaltung der Widerstände des Widerstandskastens wählt man immer zuerst die größten Widerstände, bis man einen passenden Ausschlag erhält.

Die Leitung muss so angelegt werden, dass der Magnetzeiger vom Strome nach fallenden Zahlen getrieben wird.

Bevor man nicht von der richtigen Schaltung des Instrumentes überzeugt ist, darf dasselbe nicht eingeschaltet werden.

Ist der gewählte Widerstand zu klein, so wird der das Galvanometer durchfließende Strom zu groß sein und das Instrument selbst ungenau oder gar unbrauchbar werden.

Sobald die Nullstellung erreicht und der Stromkreis geschlossen ist, lenkt der Strom den Glockenmagnet ab, der damit fest verbundene Magnetzeiger gibt einen Ausschlag, welcher durch die Drehung des Knopfes *k* mit dem Torsionszeiger ausgeglichen wird. Die Torsionsgalvanometer sind so eingerichtet (justiert), dass die Spannungsdifferenz bis auf Decimalstellen (bis auf das Komma) der Spannung in Volt entspricht. Für genaue Messungen ist dem Instrumente eine Richtigstellungstabelle (Korrektionstabelle) beigegeben. Beträgt z. B. die Richtigstellung für den in der Tabelle angegebenen Winkel von 100° = — 0·3 und die eingestellte Empfindlichkeit 1° = 0·01 Volt, so muss die gesuchte Spannung (Spannungsdifferenz) = 0·01. (100 — 0·3) = 0·997 Volt sein, wenn die Ablesung = 100° betrug.

Bei der Ablesung von 85·3° wird in der Korrektionstabelle die Korrektion des diesem Winkel nächstliegenden (100°, Korrektur = — 0·3) genommen und somit ist die gesuchte Spannung = 0·01. (85·3 — 0·3) = 0·85 Volt. Das Torsionsgalvanometer für stärkere Ströme hat den Widerstand von 1 Ohm (in Kupfer) und ist insbesondere für Ströme von mindestens 5 Ampère bestimmt. Der dazu gehörige Widerstandskasten enthält die Widerstände 9, 99, 999, 9999 Ohm (in Neusilber). Zusammengehörige Werte von gestöpselten Widerständen, Empfindlichkeiten und Bereiche der Messungen sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Gestöpselter Widerstand	Empfindlichkeit	Bereich der Messung
0 Ohm	1° = 0·001 Volt	0·17 Volt
9 „	1° = 0·01 „	1·7 „
99 „	1° = 0·1 „	17 „
999 „	1° = 1 „	170 „
9999 „	1° = 10 „	1700 „

Beispiel: Bei dem Instrumente für stärkere Ströme sei die Ablesung 30°, der gestöpselte Widerstand 99 Ohm (Empfindlichkeit 1° = 0·1 Volt); wie groß ist die Spannungsdifferenz zwischen den 2 Punkten der eingeschalteten Leitung?

Dieselbe beträgt bei 1° = 0·1 Volt,
folglich bei 30° = 30 × 0·1 = 3 Volt.

Das Instrument für schwächere Ströme hat den Widerstand von 100 Ohm (in Kupfer) und ist insbesondere für Ströme von mindestens 0·5 Ampère bestimmt. Der dazugehörige Widerstandskasten enthält die Widerstände 900, 9900 und 99900 Ohm (in Neusilber).

Die der Stöpselung obiger Widerstände entsprechenden Empfindlichkeiten und Bereiche der Messungen enthält die folgende Tabelle.

Gestöpselter Widerstand	Empfindlichkeit	Bereich der Messung
0 Ohm	1° = 0·01 Volt	1·7 Volt
900 „	1° = 0·1 „	17 „
9900 „	1° = 1·0 „	170 „
99900 „	1° = 10 „	1700 „

Beispiel: Die Ablesung ergebe bei einer Spannungsmessung mit dem Instrumente für schwächere Ströme 50°, der gestöpselte Widerstand sei 9900 Ohm (die Empfindlichkeit somit 1° = 1 Volt); wie groß ist die Spannungsdifferenz zwischen den zwei Punkten des Leitungsnetzes?

50 × 1 Volt = 50 Volt.

Übersicht der Messungen.

1. Spannungsdifferenz. Diese Messungen erfolgen in der in diesem § oben angegebenen Weise.

2. Elektromotorische Kraft E. Man bestimmt die Spannungsdifferenz an den Polen der Dynamo (Klemmenspannung) P, deren elektromotorische Kraft zu messen ist und berechnet das Produkt aus der Stromstärke J und dem Widerstande W der Maschine. Wird die Maschine von einem Motor betrieben (Stromerzeuger, Generator, primäre Maschine), so ergibt sich die elektromotorische Kraft nach der Formel:

$$E = P + J.W,$$

wird die Maschine von einem Strom getrieben (Triebmaschine, Kraftgeber, Elektromotor, sekundäre Maschine), so berechnet man die elektromotorische Kraft nach der Formel:

$$E = P - J.W.$$

3. Stromstärke. Man misst die Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten eines bekannten Widerstandes. Die Stromstärke ergibt sich dann aus dem Ohm'schen Gesetze:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannungsdifferenz}}{\text{Widerstand}}.$$

Diese Methode bezeichnet man als ein indirektes Messverfahren, da die Stromstärke nicht unmittelbar (direkt), sondern aus der Spannung und dem Widerstande bestimmt wird.



Fig. 28. Torsionsgalvanometer nach Siemens & Halske.

4. Widerstand. Der Widerstand einer, vom Strome durchflossenen Leitung lässt sich mit dem Torsionsgalvanometer messen, wenn in dem Leiter keine elektromotorische Kraft herrscht, in letzterem Falle erhält man bloß den sogenannten „scheinbaren Widerstand“ d. i. der Widerstand, welcher statt des Leiters in den Stromkreis eingeschaltet, denselben so ersetzen würde, dass sich im Stromkreise nichts ändert. Der Widerstand im Allgemeinen (Widerstand und scheinbarer Widerstand) folgt aus dem Ohm'schen Gesetze:

$$O = \frac{V}{A}.$$

Konstruktionen. Die Firma Siemens & Halske führt dieses Instrument in 2 Formen aus, in der stehenden und liegenden Form. Das bisher über das Torsionsgalvanometer Angeführte beschränkt sich in einigen Punkten auf das stehende Instrument. Bei dem liegenden Galvanometer bewegt sich der Glockenmagnet um eine horizontale Achse im magnetischen Meridiane.

Unter dem **magnetischen Meridiane** versteht man eine durch die Verbindungslinie der beiden Pole eines aufgehängten Magnetes (seine magnetische Achse) gelegte senkrechte Ebene.

In Fig. 28 ist das stehende Torsionsgalvanometer nach Siemens & Halske perspektivisch wiedergegeben.

27. Das Elektrodynamometer von Siemens & Halske ist unabhängig von magnetischen Störungen und von der Einwirkung des Erdmagnetismus; die Messung mit diesem Instrumente kann demnach in unmittelbarer Nähe von Dynamomaschinen vorgenommen werden und die Zurechtfindung nach dem magnetischen Meridiane entfällt.

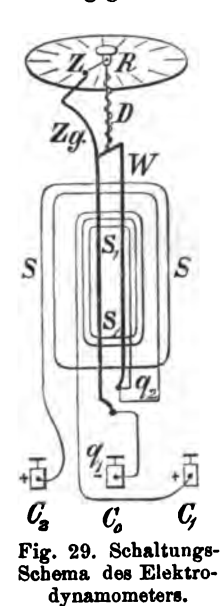


Fig. 29. Schaltungs-Schema des Elektrodynamometers.

Das Elektrodynamometer beruht auf Wechselwirkungen zwischen Strömen (I. B., S. 53, § 58) und ist ganz besonders zur Messung starker Ströme geeignet.

Die wichtigsten Bestandtheile dieses in der Fig. 29 schematisch und in Fig. 30 perspektivisch abgebildeten Strommessers sind folgende:

1. Ein beweglicher Stromkreis, bestehend aus einer dicken Windung W, Fig. 29. Diese Windung trägt den Gewindezeiger Zg und erscheint an einem Kokonfaden aufgehängt, welchen eine Drahtspirale (Torsionsspirale) D umgibt, die ebenfalls an dieser Windung und an dem Knopfe R befestigt ist. Der Knopf R trägt den Torsionszeiger Z; die Windung W taucht in die Quecksilbernäpfe q_1 und q_2 ein.

2. Eine feststehende Spirale (SS und $S_1 S_1$), welche die bewegliche Windung W umgibt; sie besteht aus dick- (SS) und dünndrahtigen ($S_1 S_1$) Windungen.

3. Zur senkrechten Aufstellung des Instrumentes dient ein Pendel, welches über einer Spitze einstehen muss. Pendel und Spitze sind in Fig. 30 ersichtlich.

Aufstellung.

1. Senkrechte Einstellung des Instrumentes durch die Stellschrauben.

2. Lösung der Arretierung der beweglichen Windung durch eine Schraube.

3. Einstellung der beiden Zeiger Z und Zg auf den Nullpunkt der Kreistheilung.

Messung.

Durchfließt das Instrument ein Strom, so wird die bewegliche Windung abgelenkt und deren Zeiger durch Drehung des Torsionszeigers auf Null eingestellt. Eine dem Galvanometer beigegebene Tabelle, welche die zusammengehörigen Werte von Ablesungen und Stromstärken (für die dünn- und dickdrahtigen Windungen) enthält, ermöglicht bei der jeweiligen Einstellung des Gewindezeigers auf Null, die Ablesung der Stromstärke. Bei der Messung mit der dünndrahtigen Spirale (Messung für kleinere Stromstärken) hat man das Instrument durch die Klemme C_0 und C_1, mit dem dünnen Drahte $S_1 S_1$, bei der Messung mit der dickdrahtigen Spirale (Messung für größere Stromstärken) durch die Klemmen C_0 und C_2 mit dem dicken Drahte SS in den Stromkreis einzuschalten.

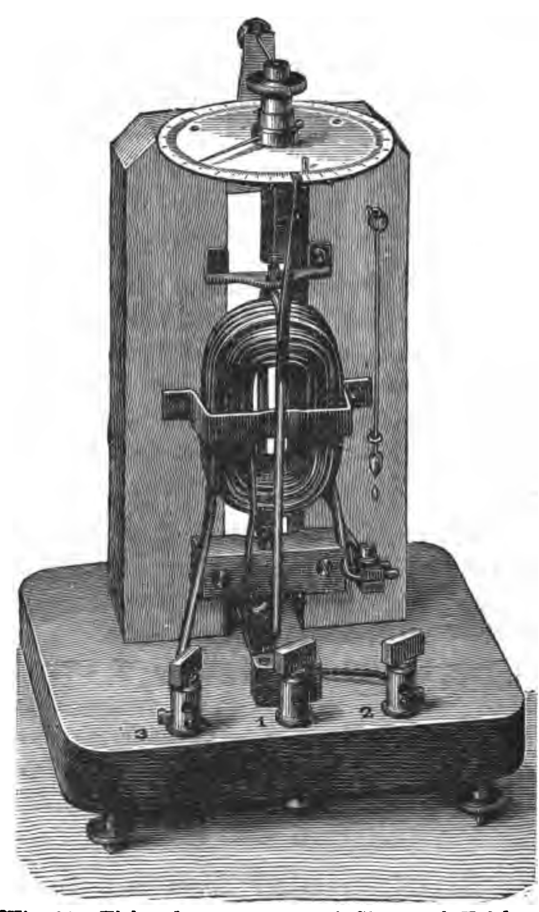


Fig. 30. Elektrodynamometer nach Siemens & Halske.

Versieht man die dicke Windung mit einem Nebenschlusse von gleichem Widerstande, so kann man mit demselben Instrumente die doppelten Stromstärken messen.

Wechselt die Stromrichtung in der beweglichen Windung, so wechselt sie auch in den festen Windungen und die Einwirkung dieser Windungen auf einander bleibt unverändert; man kann dieses Instrument deshalb auch zur Messung von Wechselströmen verwenden.

Die Angaben des Elektrodynamometers sind im Gegensatze zum Universalgalvanometer um so zuverlässiger, je größer der Ausschlag ist.

Besitzt das Instrument nur eine bewegliche Windung, dann sind die Angaben desselben vom Erdmagnetismus unabhängig, besitzt das Instrument mehrere bewegliche Windungen, dann muss sich der feste Rahmen im magnetischen Meridian befinden (demselben parallel sein).

Das Universal-Elektrodynamometer nach Karl Zickler dient zur Messung der Gleich- und Wechselströme von 113 bis 0·09 Ampère, 600 bis 4 Volt uud 56·376 bis 14 Watt.

28. Stromwaagen messen die elektromagnetische und elektrodynamische Anziehung oder Abstoßung mit einer Waage durch Gewichte. Die elektromagnetischen Apparate beruhen auf dem Elektromagnetismus (I. B., S. 46), indem z. B. Spiralen Eisenkerne anziehen, die elektrodynamischen dagegen auf der Wechselwirkung zwischen Strömen (I. B., §. 58, S. 53), ähnlich wie beim Elektrodynamometer.

29. Elektrokalorimeter sind solche Apparate, in welchen die Stromwärme an eine Flüssigkeit abgegeben wird; sie benutzen zur Messung der Stromstärke und der Spannung die Erwärmung eines Drahtes und die Erhöhung der Temperatur einer Flüssigkeit, welche den Draht umgibt. Aus dem Grade der Erhöhung der Temperatur schließt man auf die Stromstärke. In der Elektrotechnik finden diese Apparate sehr selten Verwendung.

30. Voltameter (I. B., §. 49, S. 43). Der Strom zerlegt Flüssigkeiten in ihre Bestandtheile und scheidet die Metalle an der Kathode aus (I. B., §. 49, S. 39). Ein Ampère zerlegt in einer Sekunde 1·1183 *mg* Silber (I. B, Tabelle, §. 34, S. 21). In zwei Sekunden werden demnach 2 . 1·1183 *mg*, in drei Sekunden 3 . 1·1183 *mg* u. s. w. Silber aus einer Silberlösung ausgeschieden. Man bestimmt demnach das Gewicht der Kathode vor und nach der Messung. Die Differenz dieser beiden Gewichte gibt die Anzahl der ausgeschiedenen *mg* an. Dividiert man diese *mg* durch 1·1183, so erhält man die Ampère-Sekunden und durch Division mit 60 die Ampère-Minuten u. s. w.

31. Elektrometer nennt man Instrumente, welche zur Messung von Spannungen, Elektricitätsmengen und zur Aufstellung der Gesetze, nach welchen Elektricitätsmengen auf einander einwirken, dienen. Eines der gebräuchlichsten Instrumente dieser Art ist das Quadrant-Elektrometer nach W. Thomson (1855). Fig. 31 gibt das Quadrant-Elektrometer nach Viktor von Lang schematisch wieder. Dasselbe besteht aus einer in die vier Quadranten *I*, *II*, *III* und *IV* getheilten Metallplatte. Über diesen Quadranten hängt eine Aluminiumnadel *B* (Bisquit). Die Nadel *B* trägt einen Draht mit dem Spiegel *S* und der Birne

E, welche in koncentrierter Schwefelsäure hängt. Die Schwefelsäure und somit auch die Nadel werden durch eine Wasserbatterie (Kupfer, Wasser, Zink) oder durch eine Leydnerflasche (I. B., Fig. 9, S. 10) auf ein bestimmtes Potential (I. B., S. 22) gebracht. Die Quadranten *I* und *II* sind zwischen 1 und 3 untereinander und weiters mit der Erde verbunden. Je nach der Art der Elektricität, welche man den bei zwei und vier leitend vereinigten Quadranten *II* und *IV* mittheilt, bewegt sich die Nadel und mit ihr der Spiegel nach der einen oder nach der anderen Richtung. Die abstoßende Kraft, welche bei geringen Ablenkungen dem Potential der mitgetheilten Elektricität proportional ist, bestimmt man mittelst der Spiegelablesung (§. 2). Die letzteren Kräfte sind in der Regel sehr klein, so dass die betreffenden Konstruktionen sehr empfindlich sein müssen. Die Elektrometer werden zumeist nur für wissenschaftliche Zwecke verwendet. Ein neues Instrument derselben Art ist das sehr empfindliche Quadrant-Elektrometer nach F. Dolezalek.[1])

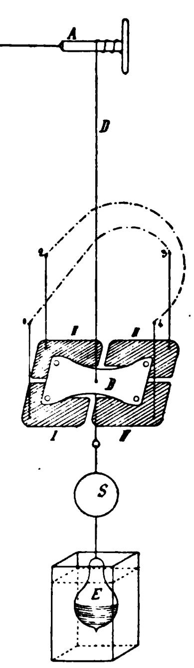


Fig. 31.
Elektrometer nach V. v. Lang.

32. Galvanometer-Benennungen.

1. Astatisches Galvanometer. Eine Magnetnadel befindet sich innerhalb, die andere außerhalb der Windungen, so zwar, dass das Galvanometer sehr empfindlich wird; z. B. Universalgalvanometer (S. 18, §. 23) und Spiegelgalvanometer von S. & H. (S. 14, §. 22).

2. Galvanometer mit Dämpfer; aperiodische Galvanometer. Macht die Galvanometernadel zu viel Schwingungen, dann ist vielleicht während der Messung die Stromstärke schon eine andere. Man benützt folgende Dämpfer: *a)* Widerstand eines Mittels, z. B. Luft; man kann den Magnet mit einem Glimmerflügel versehen, damit der Luftwiderstand größer wird, Flüssigkeiten (z. B. Glaskörper an der Nadelaufhängung oder Nadel eingetaucht in Glycerin, Öl u. s. w.); *b)* elektrodynamische Dämpfung durch Kupferhülsen oder Magnete; *c)* Rückwirkung inducierter Ströme, welche durch die Schwingungen der Magnetnadel in benachbarten Metallmassen erzeugt werden. Wenn die Dämpfung so stark ist, dass sich die durch den Strom abgelenkte Magnetnadel schon mit dem ersten Ausschlag fest einstellt, ohne weitere Schwingungen auszuführen, nennt man das Galvanometer „aperiodisch".

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1896, S. 471 und 1897, S. 507.

3. Ballistisches (Schwingungs-) Galvanometer. Wenn die Schwingungen so langsam sind, dass Ausschläge der bewegten Nadel und Schwingungsdauern gemessen werden können. Verwendung: Magnetische Messungen. Diese Instrumente besitzen schwere Stahlmagnete.

4. Differential-Galvanometer. Die Spulen wirken im entgegengesetzten Sinne auf die Nadel.

5. Bifilar-Galvanometer. Besitzen ein bifilar aufgehängtes Solenoid, dessen Windungen in der Nord-Süd-Richtung liegen. Das Solenoid wird durch einen schwachen Strom abgelenkt. Die Bifilar-Aufhängung (Harris, Gauss) besteht aus zwei parallelen Fäden. In der Gleichgewichtslage liegen die Fäden in derselben Vertikalebene.

6. Absolutes Galvanometer nennt man ein solches, bei welchem sich die Wirkung eines Stromes auf einen Magnet aus den Abmessungen des Instrumentes durch Berechnung in absolutem Maße ergibt (Tangentenbussole, Sinusbussole.)

7. Relatives Galvanometer. Dasselbe muss mit einem Voltameter oder einem Normalelemente geaicht werden.

8. Galvanometer mit empirischer (erfahrungsmäßiger) Theilung. Wenn der Zusammenhang zwischen Strom- und Ablenkungswinkel kein gesetzmäßiges ist, dann gibt man dem Instrumente eine Millimeter- oder empirische Theilung. Man aicht das Instrument mit einem Normalelemente. Hierher gehören die industriellen Galvanometer.

I. Industrielle Galvanometer.

33. Allgemeines. In der Praxis werden an die Galvanometer hauptsächlich 2 Anforderungen gestellt:

1. Unabhängigkeit von magnetischen Störungen und der Einwirkungen des Erdmagnetismus.

2. Direkte Ablesungen der Konstanten (Stromstärke, Spannung und Widerstand) des elektrischen Stromes.

Diese beiden Anforderungen erfüllen die sogenannten „industriellen“ Galvanometer, die bei jeder elektrischen Beleuchtungsanlage anzutreffen sind und bei der einfachsten Konstruktion die beste Verwendbarkeit zeigen. Die ersten Instrumente dieser Art stammen aus dem Jahre 1881; in diesem Jahre waren auf der Pariser Ausstellung und in den darauf folgenden Jahren auf der Münchener (1882) und Wiener Ausstellung (1883) die Instrumente von Marcel Deprez ausgestellt. Die Beseitigung der Abhängigkeit der Angaben der Galvanometer von magnetischen Störungen und der Einwirkung des

Erdmagnetismus hat Deprez dadurch erreicht, dass er die Magnetnadeln der Galvanometer durch weiches Eisen ersetzte, welches durch ein künstliches magnetisches Feld (Hufeisenmagnet) magnetisiert und in eine bestimmte Richtung eingestellt wird.

Die Wickelung sämmtlicher Ampèremeter besteht aus einer oder einigen Windungen eines dicken Drahtes, die Wickelung sämmtlicher Volt- und Ohmmeter, aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes.

34. Eintheilung. Die Galvanometer für industrielle Zwecke lassen sich wohl zweckmäßig nach den Wirkungen des Stromes (I. B., §. 47, S. 38) in 9 Gruppen eintheilen. Diese Gruppen sind: 1. Physiologische, 2. Chemische, 3. Wärme-, 4. Licht-, 5. Mechanische Wirkungen, 6. Magnetische Wirkungen oder Elektromagnetismus (Spiralanziehung, Magnetische Abstoßung, Elektromagnetische Anziehung), 7. Wechselwirkungen zwischen Strömen, 8. Elektrodynamische Induktion, 9. Elektrische Schwingungen.

35. Physiologische Wirkungen (I. B., S. 25 u. 39). Je höher die Spannung ist, desto stärker werden die Muskeln und Nerven der Menschen erschüttert. Bei Spannungen über 100 Volt wird dieses Verfahren lebensgefährlich.

36. Chemische Wirkungen (I. B., §. 49, S. 39). Die Instrumente dieser Gruppe sind Voltameter (I. B., S. 43). Für praktische Zwecke eignet sich sehr gut zur Messung von Stromstärken bis 40 Ampère das Wasservoltameter nach F. Kohlrausch.[1]) Die Messung mit diesem Voltameter erfolgt ohne Zuhilfenahme einer Waage. Auf einer Glasflasche sitzt eine oben geschlossene Glasröhre. Die Flasche hat eine axiale und eine exaxiale Öffnung, welche durch Stöpsel geschlossen sind. Flasche und Rohr sind cylindrisch geformt. Der Durchmesser der Flasche beträgt 140 *mm*, die Höhe derselben bis zum Stöpsel 90 *mm*. In das oben geschlossene Ende des Rohres ist innen ein Thermometer (— 20 bis + 40° C) mit seinem obersten Ende eingeschmolzen. Das Rohr ist von oben bis zu 330 cm^3 Inhalt herab geaicht, besitzt unterhalb dieser Aichung zwei einander horizontal gegenüberliegende Öffnungen zur Einführung zweier blanker Platinelektroden von je 15 cm^2 wirksamer Oberfläche. Mit seinem unteren (Stöpsel-) Ende steht das Rohr in der Flasche. Das Rohr hat die folgenden Abmessungen: 370 *mm* Höhe, 47 *mm* Durchmesser und 110 *mm* Länge des Stöpselendes. Dieses Rohr und zum

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1885, S. 190 und F. Kohlrausch, Leitfaden der praktischen Physik, 1896, S. 305 bis 307.

größten Theile auch die Flasche sind mit 10 bis 20 procentiger reiner Schwefelsäure gefüllt. Der Widerstand des Instrumentes beträgt 0·03 Ohm. Man misst das Knallgas, welches durch den Strom entwickelt wurde. Ein Coulomb bildet 0·174 cm^3 (I. B., S. 21), 1 Ampèrestunde 626 cm^3 trockenes Knallgas von 0° und 760 *mm* Druck. Die Angaben des Instrumentes müssen auf diese Temperatur, auf diesen Druck und auf eine Schwefelsäure mit bestimmter Verdünnung umgerechnet werden. Die exaxiale Öffnung der Flasche muss während des Gebrauches geöffnet sein! Es ist besonders darauf zu achten, dass das Knallgas nicht bis zur Stromunterbrechung an den Elektroden entwickelt wird, da sonst bei Funkenbildung eine Explosion an dieser Stelle erfolgt.

37. Wärmewirkungen (I. B., §. 50, S. 44). Berührt man einen Leiter mit der Hand oder mit einem durch Wärme neue Eigenschaften zeigenden Gegenstande, so kann man die denselben durchfließenden Ampère schätzen (I. B., S. 25). Die industriellen Galvanometer dieser Gruppe messen die Stromstärke, die Spannung und den Widerstand durch die Ausdehnung eines Drahtes durch Erwärmung. Fig. 32 gibt ein Schema eines solchen Instrumentes wieder. Letzteres besteht aus einem über die Rollen R und R_1 geführten Platinsilberdrahte. Der Strom fließt von der Klemme K_1 durch den Draht sowie den Vorschaltwiderstand W und verlässt bei der Klemme K_2 das Instrument. Infolge der Erwärmung des Drahtes durch den Strom dehnt sich der letztere aus und die bei B befestigte Feder F zieht sich zusammen, so dass sich der Zeiger in der entgegengesetzten Richtung eines Uhrzeigers bewegt und auf einer Theilung die Ampère, Volt oder Ohm anzeigt. Eines der ersten Instrumente dieser Gattung stammt von Cardew, Fig. 33.

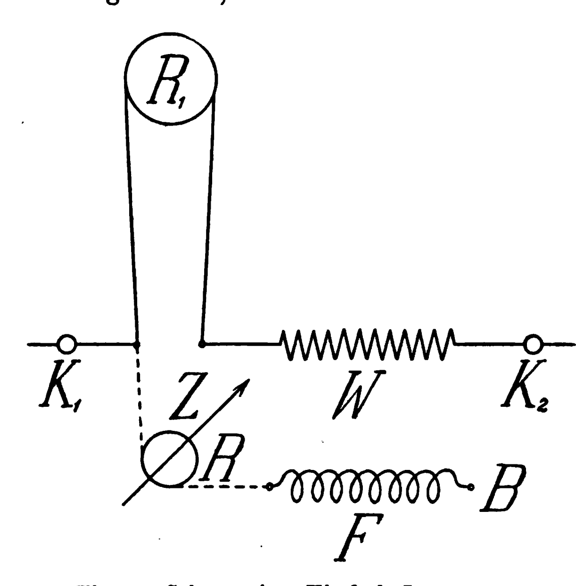


Fig. 32. Schema eines Hitzdraht-Instrumentes.

Dieses Instrument beruht auf der Längenausdehnung eines Platinsilberdrahtes durch die Wärmewirkung des Stromes. An dem Drahte ist

ein um die Achse *a* gewundener Seidenfaden befestigt, welcher durch die Spirale *f* gespannt wird. Der Zusatzwiderstand *c m g* kann durch Unterbrechung der Verbindung zwischen *c* und *d* ausgeschaltet werden.

Geschützt ist das Instrument durch die Sicherheitsschaltung *d e*. Nach längerem Gebrauche wird die Nullstellung des Zeigers *Z* durch Verstellen des Metallstückes *i* mittelst der Schraube *k* richtig gestellt. Die Einschaltung des Instrumentes erfolgt an den Klemmen k_1 und k_2.

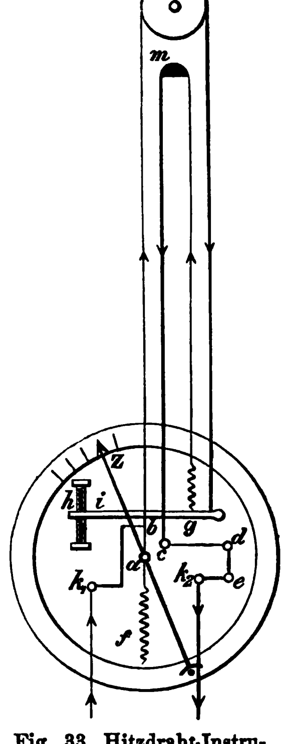


Fig. 33. Hitzdraht-Instrument nach Cardew.

Weitere solche sogenannte Hitzdraht-Instrumente haben konstruiert: Hartmann & Braun,[1]) Ayrton & Perry, Geyer & Brystol, Holden und Rob. M. Friese (mit Spiegelablesung).[2]) Hartmann & Braun benützen zur Dämpfung der Schwingungen des Zeigers des Instrumentes eine Aluminiumscheibe, welche sich in einem kleinen, zwischen den Polen eines kräftigen Hufeisenmagnetes befindlichen Schlitze bewegt. Durch diese Vorrichtung wird die Aperiodicität (§. 32) des Ganges erzielt. Mit der Zunahme der Temperatur wächst weiters der Widerstand der meisten Leiter (I. B., S. 107). Auf dieser Eigenschaft der Leiter beruhen die elektrischen Temperaturmesser. Zu diesen Instrumenten zählen:

1. Thermoelement (I. B., §. 81, S. 82). Je höher man die Löthstellen erwärmt, desto größer werden die Ausschläge des Zeigers eines nach Graden Celsius geaichten Galvanometers sein.

2. Bolometer (Widerstandsthermometer) nennt man ein Platin-Silberblech in einer Brücke (I. B., §. 45, S. 36).

3. Pyrometer messen sehr hohe Temperaturen mittelst der Ausdehnung eines Drahtes durch Erwärmung. Dieselbe Eigenschaft verwendet das Thermophon, ein Hörapparat der Telephonie.

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1893, S. 162, 334 und 1894, Seite 526.

[2]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1895, S. 726.

38. Lichtwirkungen. An einer Glühlampe kann man in der Nähe der Normalspannung Unterschiede in der Spannung bis zu 1 Volt herab mit dem Auge nach dem Grade der Helligkeit ablesen. Kennt man die Betriebsspannung, so kann man aus der Länge des an irgend einer Stelle erzeugten Öffnungs-Funkens auf die Stromstärke schließen; umgekehrt schätzt man bei bekannter Stromstärke aus der Länge dieses Funkens die Spannung. Es ist dabei zu beachten, dass die Funkenbildung mit der Spannung zunimmt. Aus der Lichtstärke der Glüh- und Bogenlampen kann man schon mit freiem Auge und genau mittelst der später zu besprechenden Lichtmesser (Photometer) Stromstärke und Spannung beurtheilen.

39. Mechanische Wirkungen. Ein elektrischer Funke durchlöchert die Luft, Papier, Glas u. s. w. Lässt man zwischen zwei isolierten Kügelchen einen Funken überspringen, so kann man aus der Entfernung der beiden Kügelchen die zwischen denselben herrschende Spannungsdifferenz ermitteln. Apparate dieser Einrichtung heißen Funkenmikrometer. Dieselben dienen zur Messung der höchsten Spannungsdifferenzen (Tausende bis Millionen von Volt).

40. Spiralanziehung. Die Instrumente dieser Art bestehen der Hauptsache nach aus einem Galvanometergewinde (Multiplikatorgewinde) und aus einem Eisentheilchen, welche anziehend auf einander wirken. Fig. 34 stellt die ersten industriellen Galvanometer, die Ampère- und Voltmeter nach Deprez (1881) dar.

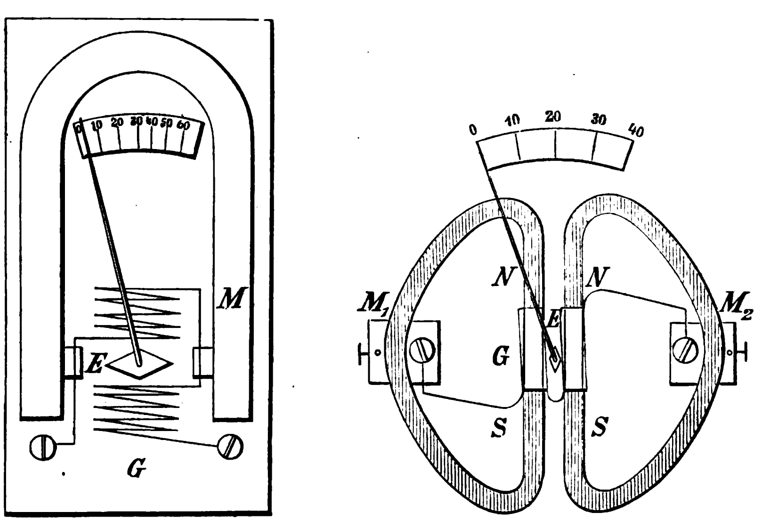


Fig. 34. Galvanometer nach Deprez. Fig. 35.

Fig. 35 ist eine neuere, praktische Form der letzteren Instrumente. Die Galvanometer Fig. 34 und Fig. 35 enthalten einen dritten Hauptbestandtheil und zwar einen Hufeisenmagnet *M*, Fig. 34, oder zwei Hufeisenmagnete M_1 und M_2, Fig. 35.

Der Zweck der Hufeisenmagnete (Stahl-Dauer- oder permanenten Magnete) ist im § 33 erläutert worden.

Die Angaben der Instrumente Fig. 34 und Fig. 35 sind nur solange richtig, als die hier angewandten Hufeisenmagnete gleich stark magnetisch bleiben. Die Schwingungen der Magnetnadel *E* sind aperiodisch (Du Bois Reymond nennt einen Magnet, der nach erfolgtem Ausschlage ohne Schwingungen zu machen, in seiner Lage verbleibt, aperiodisch).

Das Galvanometer in Fig. 35 hat eine sehr gefällige Form und kann in jeder beliebigen Stellung zu Messungen verwendet werden, da das weiche Eisen durch den Hufeisenmagnet gerichtet wird.

Die Ampère- und Voltmeter der Vereinigten Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft in Wien, Fig. 36 und 37, sind direkt zeigende Instrumente nach Deprez. Diese Instrumente bestehen zunächst aus einem Hufeisenmagnete aus bestem englischen Stahl. Derselbe wird vor dem Einbau sehr sorgfältig auf seine Beständigkeit geprüft. An die Pole des Hufeisenmagnetes schließen die beiden Eisenstücke *b b*, Fig. 36, an, die in einer Spitze auslaufen. Die Lagerung der Achse des Instrumentes, die Befestigung der Stahlnadel *d* und des Zeigers an der Achse sind aus obigen Figuren ersichtlich. *c c*, Fig. 36, stellen zwei Spulen dar, durch welche der wirksame Strom fließt; überschreitet derselbe einen bestimmten Betrag, so werden zu *c c* Nebenschlüsse gelegt, so dass nur ein Zweigstrom durch das Instrument hindurchgeht; mit diesen Nebenschlüssen versehen werden diese Instrumente geaicht. *b b* und *c c* können der Nadel genähert oder von ihr entfernt werden, so zwar, dass man jede gewünschte Theilung auf der Skala *e* herzustellen in der Lage ist. Die zumeist gewünschten Theilungen enthalten entweder lange Abstufungen an der Gebrauchsstelle oder durchwegs gleiche Abstufungen. Ein Eisengehäuse und eine auf der Rückseite des Instrumentes angebrachte Eisenplatte dienen als Schutz gegen benachbarte Ströme oder äußere magnetische Einflüsse. In Betrieben mit großen Stromschwankungen (z. B. bei elektrischen Straßenbahnen) werden diese Instrumente aperiodisch (§. 32) eingerichtet.

Weston verwendet ebenfalls sowie Deprez ein kräftiges Feld eines Hufeisenmagnetes. Zwischen den Polen dieses Magnetes befindet sich eine bewegliche Spule und in dieser ein feststehender Eisenkern. Sobald der Strom die Spule durchfließt, vollführt dieselbe eine der Strom-

1 : 2

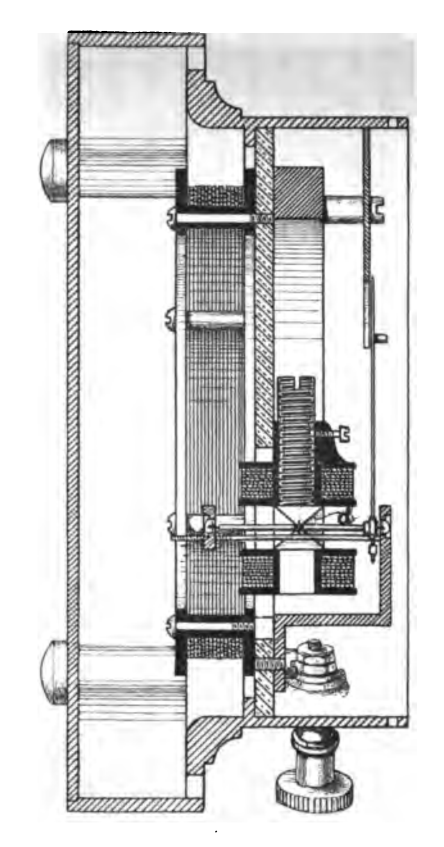


Fig. 36. Galvanometer der Vereinigten „Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft. Fig. 37.

stärke proportionale Bewegung. Eine Spiralfeder sucht diese Bewegung zu hemmen. Diese Instrumente zählen zu den vollkommensten Gleichstrommessinstrumenten für praktische Zwecke.

Bei den folgenden Instrumenten ist in der Regel die Wirkung eines Gegengewichtes in Anspruch genommen; die Zeiger dieser Instrumente sind in der Nullstellung entweder frei beweglich oder fest. Stahlmagnete sind bei keinem dieser Galvanometer in Verwendung.

Die Figuren 38 und 39 stellen Konstruktionen der Firma Gülcher in Bielitz-Biala vor.

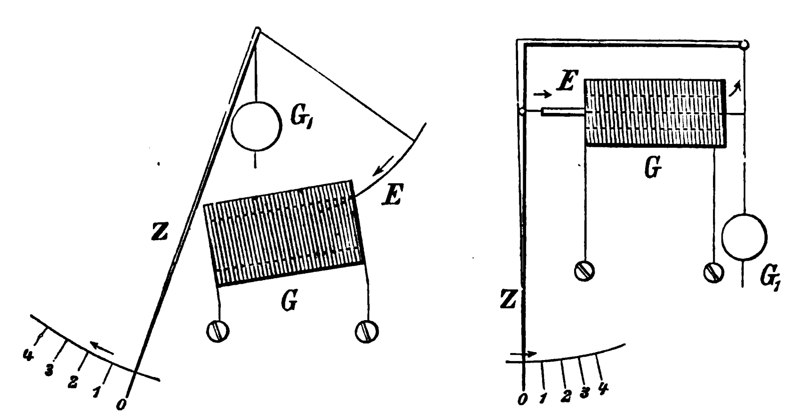


Fig. 38. Galvanometer nach Gülcher. Fig. 39.

Die Zeiger *ZZ* und die Eisendrähte *EE* sind durch die Gewichte *GG* ausbalanciert.

Die Skalen geben Ampère beziehungsweise Volt an. Je stärker der Strom ist, welcher die Galvanometerwindungen *GG* durchfließt, desto größere Ausschläge geben die Zeiger *ZZ*.

Sehr häufig stehen die Instrumente der Firma S. Schuckert & Co. (System Hummel), Fig. 40 und 41, in Verwendung. Dünne Eisenbleche *EE* werden von den Galvanometerwindungen angezogen. Die mit den Eisenblechen fest verbundenen Zeiger *ZZ* folgen den Bewegungen derselben und zeigen Volt, Fig. 40, beziehungsweise Ampère, Fig. 41, auf den zugehörigen Theilungen an. Das Ampèremeter in Fig. 41 hat nur eine Windung *G* und ist für sehr hohe Ampère bestimmt.

Der Stromanzeiger von Siemens & Halske, Fig. 42 und 43. Dieser Stromanzeiger besteht aus einer dicken, kurzen, kupfernen Windung, in welche von oben das eine Ende eines dünnen, eisernen,

um seinen Mittelpunkt drehbaren Ringsegmentes hineinragt, welches am unteren Ende mit einem durch eine Schraube verstellbaren Gegengewicht und mit einem im Mittelpunkte der Drehung befestigten Zeiger verbunden

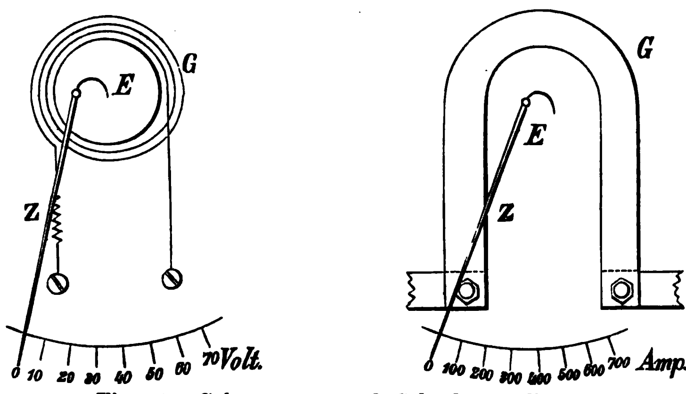


Fig. 40. Galvanometer nach Schuckert. Fig. 41.

ist, so dass bei der Drehbewegung des Ringsegmentes der Zeiger auf einer bogenförmigen Skala spielt. Wenn in der kupfernen Windung ein elektrischer Strom kreist, so wird das freie Ende des eisernen Ringsegmentes in den Stromkreisweg hineingezogen und zwar in um so stärkerem Maße, je stärker der Strom ist, wobei der Zeiger in entsprechender Weise auf der Skala steigt. Diese Skala ist mit einer gleichmäßigen Theilung versehen; auf derselben sind die Werte des Zeigerausschlages für jedes Instrument bei dessen Justierung empirisch festgestellt und in Ampère angegeben. Das

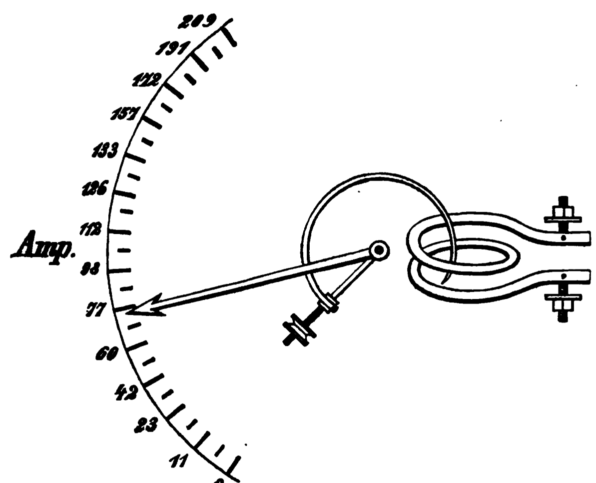


Fig. 42. Galvanometer nach Siemens & Halske.

Instrument wird in fünf verschiedenen Empfindlichkeiten ausgeführt, nämlich:

Für 0 bis ungefähr 50 Ampère,		für 0 bis ungefähr 300 Ampère,
„ 0 „ „ 100 „ ,		„ 0 „ „ 400 „ .
„ 0 „ „ 200 „ ,		

Für 0 bis 600 Ampère ist die kupferne Windung noch mehr verkürzt und von größerem Querschnitte. Alle diese Stromzeiger sind mit einer Arretierungsvorrichtung zur Feststellung des Zeigers versehen, welche außerdem zur Kontrollierung des Zeigerausschlages benützt werden kann. Diese Vorrichtung hat außerhalb des Gehäuses einen tordierten Knopf, mittelst dessen der Zeiger auf den Nullpunkt der Skala zurückgeführt wird. Soll mit dieser Vorrichtung der Ausschlag kontrolliert werden, so dreht man damit während der Messung den Zeiger für kurze Zeit auf Null zurück und lässt denselben dann wiederum frei einspielen. Ist das Instrument in Ordnung, so gibt alsdann der Zeiger denselben Ausschlag, wie vorher.



Fig. 43. Galvanometer nach Siemens & Halske.

Der Spannungszeiger der Firma Siemens & Halske hat im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie der soeben beschriebene Stromzeiger.

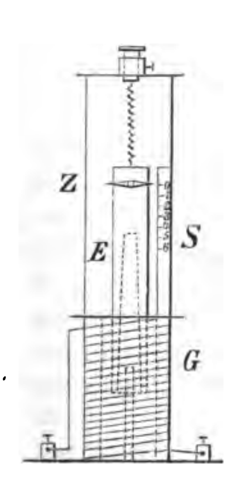


Fig 44. Galvanometer nach F. Kohlrausch.

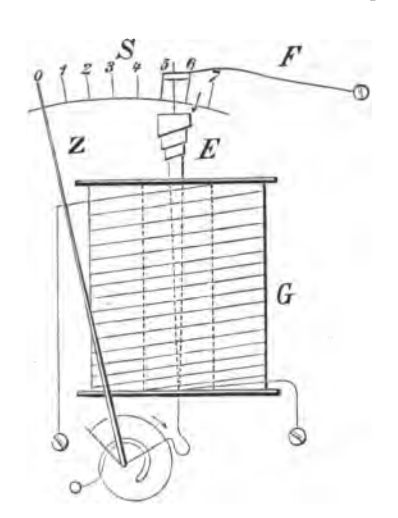


Fig. 45. Galvanometer nach Hartmann & Braun.

Die industriellen Galvanometer der Firma Hartmann & Braun sind in den Fig. 44 (System F. Kohlrausch) und 45 schematisch wiedergegeben.

Die Windungen sind mit *GG*, die Eisenbleche mit *EE* und die Theilungen mit *SS* bezeichnet. *F* in Fig. 45 deutet eine Stahlfeder an.

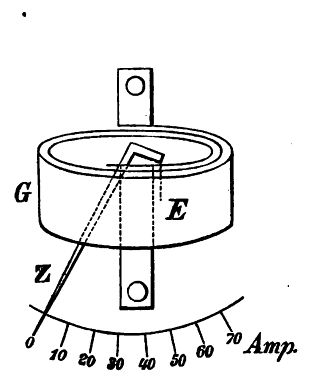


Fig. 46. Amperèmeter der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft.

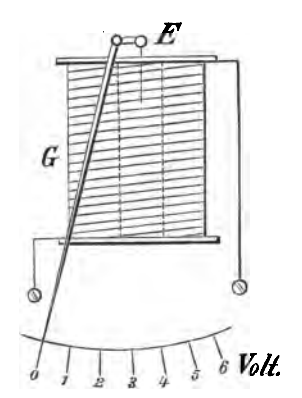


Fig. 47. Voltameter der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft.

Die allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin baut die in den Figuren 46 und 47 wiedergegebenen Instrumente (System Dolivo von Dobrowolsky). Die Buchstaben bezeichnen, wie oben, die Hauptbestandtheile dieser Instrumente.

41. Magnetische Abstoßung. Aus dem Principe dieser Instrumente ergeben sich die Hauptbestandtheile derselben:

1. Eine Magnetisierungsspirale.

2. Ein Doppeleisenkern, bestehend aus einem festen und einem beweglichen Theile. Die beiden Theile des Eisenkernes werden durch die Spirale magnetisiert, erhalten an den gleichen Enden die gleichen Pole und stoßen einander ab. An der Achse sind der bewegliche Theil und der Zeiger befestigt, letzterer spielt auf einer Skala.

Das Instrument in Fig. 48 wurde im Jahre 1884 von der Firma Siemens & Halske patentiert. Der Eisenkern dieses Instrumentes ist an seinem oberen Ende durch einen schrägen Eisenansatz verlängert, auf welchen der bewegliche Eisenkern ruht.

Scharnweber (Kiel) hat die magnetische Abstoßung gleichzeitig mit Siemens & Halske in seinen industriellen Galvanometern angewendet.

Fig. 49 zeigt eine einfachste Ausführung des obigen Principes, die Ampère- und Voltmeter der Vereinigten Elektricitäts-Actien-Gesellschaft vormals B. Egger & Co.

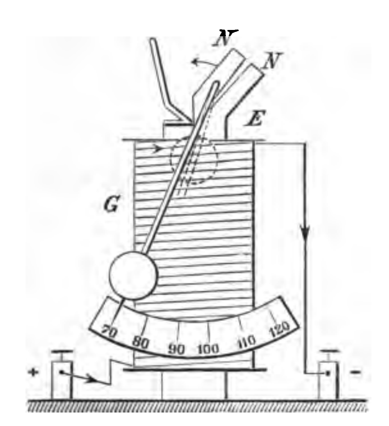


Fig. 48. Galvanometer nach Siemens & Halske.

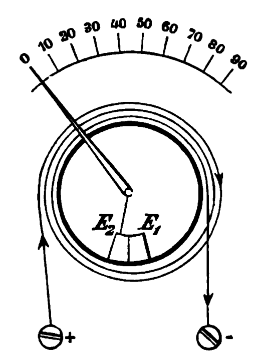


Fig. 49. Galvanometer der Vereinigten Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft.

(System F. Drexler). Der feste Eisenkern E_1 und der bewegliche E_2 werden an den Enden gleichnamig magnetisch und stoßen einander ab. Der mit dem beweglichen Eisenkerne fest verbundene Zeiger gibt an einer Theilung Stromstärken oder Spannungen an. Im Jahre 1888 habe ich bei diesen Instrumenten die Eisenkerne E_1 und E_2 durch weiche Eisendrähte von 1 *mm* Durchmesser ersetzt und damit sehr genaue Angaben erhalten. Fig. 50 gibt ein Maximum- und Minimum-Voltmeter bezw. Ampèremeter wieder.

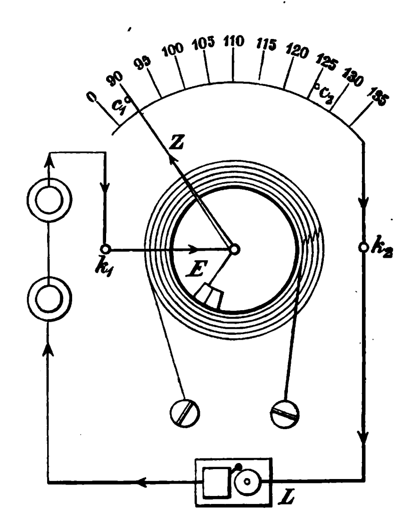


Fig. 50. Galvanometer mit Stromrichtungsanzeige.

Dieses Instrument macht den Maschinisten durch ein Signal auf zu hohe (maximale, hier 125 V.) und auf zu niedrige (minimale, hier 90 V.) Betriebspannung aufmerksam. Die beiden Pole der Elemente sind mit den Klemmen k_1 und k_2 verbunden. k_2 und die Skala sind von dem Körper isoliert und stehen mit einander in Verbindung. Der Zeiger Z gibt entweder bei c_1 oder bei c_2 Berührung. L bezeichnet ein Läutewerk.

Das Instrument der Österreich. Schuckert-Werke, Fig. 51 und 52 beruht ebenfalls auf der magnetischen Abstoßung. Der feste Eisenkern besteht aus einem dünnen Eisenbleche, welches an der Innenfläche der Spule befestigt ist, während ein hohler Cylinder aus dünnem Eisenbleche den beweglichen Eisenkern bildet. Die Firma baut das Instru-

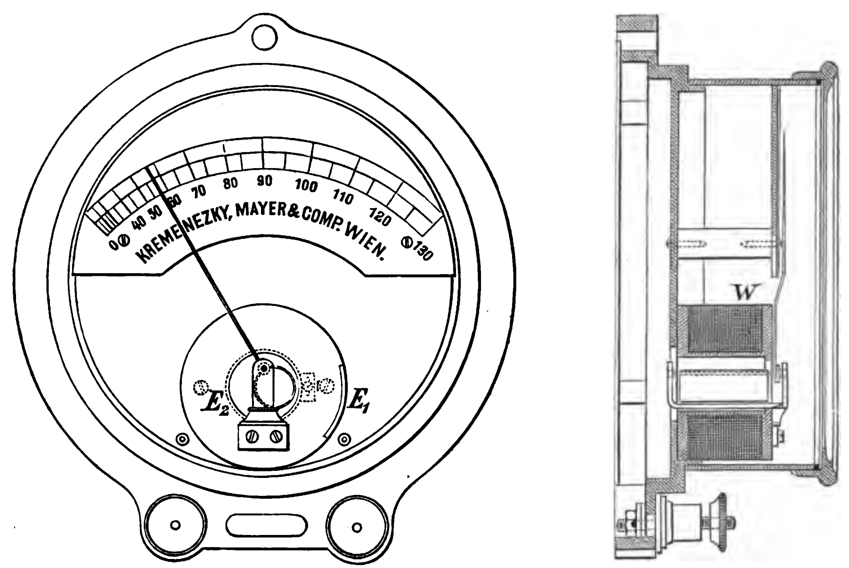


Fig. 51. Galvanometer der Österreichischen Schuckert-Werke. Fig. 52.

ment in der Regel in 4 verschiedenen Größen. Die Durchmesser der Deckplatte betragen 90, 160, 200 oder 240 *mm*. Die 3 größeren Formen sind zumeist zum Montieren auf eine senkrechte Fläche eingerichtet, die kleinste Form ist leicht transportabel und kann auf eine horizontale Fläche aufgestellt werden. Die Ampère- und Voltmeter dieser Firma haben im Wesen dieselbe Einrichtung.

42. Elektromagnetische Anziehung. Die Hauptbestandtheile der Instrumente dieser Gruppe von Galvanometern sind:

1. Ein Elektromagnet M, Fig. 53.

2. Ein excentrischer Anker K aus weichem Eisen.

Ein solches industrielles Galvanometer hat zuerst F. Uppenborn konstruiert. Der Anker K ist excentrisch an der Achse befestigt, d. h. die Achse geht nicht durch den Mittelpunkt (das Centrum) des Ankers; der Elektromagnet M mit dem Eisenkerne E wird deshalb den

letzteren so bewegen, dass der Abstand zwischen beiden so klein als möglich wird. Der Anker steht in steter Verbindung mit dem Zeiger, welcher auf einer Skala die Konstanten des elektrischen Stromes anzeigt. Der Zeiger Z wird in Fig. 53 nicht auf der gezeichneten Theilung S. sondern auf deren Verlängerung im Sinne der fallenden Zahlen zeigen. K_1 und K_2 sind die Klemmen des Instrumentes.

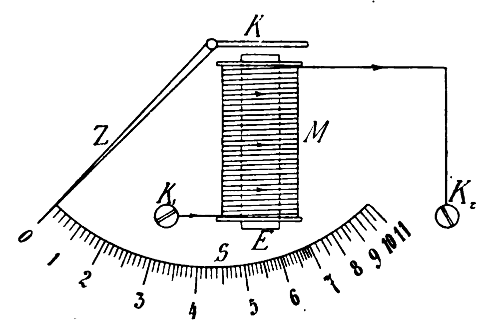
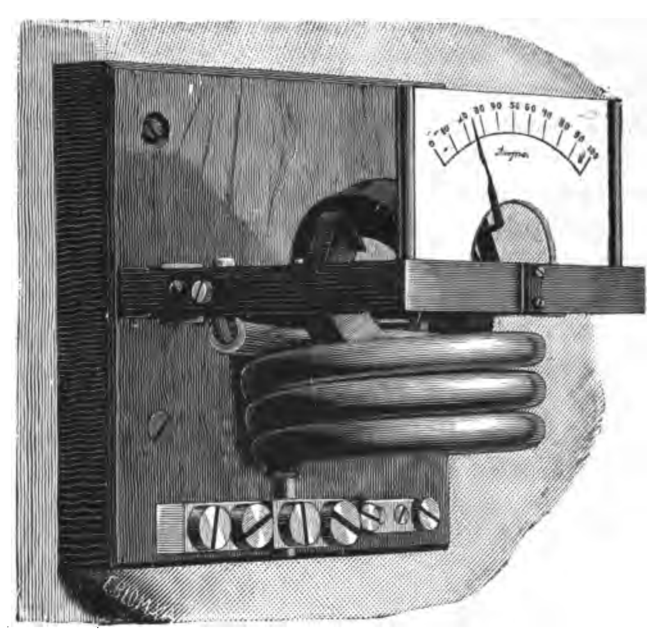


Fig. 53. Elektromagnetische Anziehung.

Die Instrumente von F. Uppenborn zählen zu den ältesten, praktisch verwendbaren industriellen Galvanometern.

43. Wechselwirkung zwischen Strömen (I. B., §. 58, S. 53). Auf dieser Wirkung beruht der elektrodynamometrische Stromzeiger für Lichtleitungen nach Siemens & Halske, Fig. 54. Dieser Stromzeiger ist zur Kontrolle der Stromstärke in Stromkreisen mit Parallelschaltung der Lampen zu benützen, weil derselbe auf eine bestimmte Spannung adjustiert ist.


Fig. 54. Stromzeiger nach Siemens & Halske.

Konstruktion des Apparates. Der Stromzeiger besteht aus einer durch wenige Windungen starken Kupferdrahtes gebildeten Spirale und einem mit vielen Windungen dünnen Drahtes bewickelten drehbaren Ringe, dessen Drehachse die senkrechte Achse der dicken Kupferspirale rechtwinklig durchschneidet. Der

Ring ist etwa bis zur Hälfte seines Umfanges in diese Kupferspirale eingesenkt und mit einem Zeiger verbunden, welcher auf einer in Ampère eingetheilten Skala spielt.

Wirkungsweise des Apparates. Der zu messende Strom geht durch die dicken Windungen, während der bewegliche Ring in eine Glühlampe eingeschaltet ist, so dass denselben ein schwacher, aber konstanter Strom umkreist. Durch die zwischen beiden Stromkreisen zur Wirkung kommende elektrische Anziehung wird eine der Stromstärke proportionale Drehung des Ringes hervorgerufen. Dieser Drehung entsprechend, deutet der Zeiger bei gleichbleibender Spannung im Stromkreise die Zahl der den Ring durchfließenden Stromeinheiten in Ampère an. Der Apparat wird in drei Größen bis zu 150, 300 und 500 Ampère ausgeführt.

44. Elektrodynamische Induktion (I. B., S. 61). Die Anordnung der Bestandtheile eines Instrumentes dieser Wirkung gibt Fig. 53 wieder, wenn K nicht einen Eisenkern, sondern eine Kupferscheibe oder Kupferwindungen vorstellt. Sobald der Messtrom die Windungen des Elektromagnetes M durchfließt, wird in K ein Induktionsstrom erzeugt und der Zeiger bewegt sich nach steigenden Zahlen. Auch die Elektrometer (§. 31) beruhen auf Induktionswirkungen (I. B., §. 13).

45. Elektrische Schwingungen (I. B., §. 80, S. 81). Ein rasch rotierender spiegelnder Cylinder (Drehspiegel) zeigt ein Lichtband mit abwechselnd dunklen und hellen Stellen, wenn man ihm gegenüber einen Funken erzeugt und dient somit zum Nachweise elektrischer Schwingungen. Letztere können auch dazu dienen, ein Relais (I. B., S. 51) in Thätigkeit zu setzen.

46. Das Einschalten, die Montage und das Aichen der Messinstrumente. Sämmtliche Strommesser (Voltameter, Universalgalvanometer als Strommesser, Elektrodynamometer, Ampèremeter u. s. w). werden direkt in die Hauptleitung, Fig. 55, eingeschaltet. Sämmtliche Spannungs- und Widerstandsmesser (Voltmeter, Torsionsgalvanometer, Ohmmeter u. s. w.) werden an diejenigen Punkte des Stromkreises angeschlossen, zwischen welchen die Spannung oder der Widerstand gemessen werden soll, Fig. 56. Das Ampèremeter misst die Stromstärke in einem Punkte der Leitung, das Voltmeter misst die Spannung zwischen zwei Punkten.

Fig. 55 stellt die Schaltung der industriellen Galvanometer bei einer Beleuchtungsanlage mit hintereinandergeschalteten Lampen, Fig. 56, mit parallel geschalteten Lampen dar.

In Fig. 56 gibt V_1 die Maschinen, V_2 die Lampenspannung, A_1 den gesammten Strom im Leitungsnetze, A_2 den Strom der Lampe L_1 und O den Widerstand der Lampe L_2 an.

Dieselbe Schaltung wird bei allen oben angeführten Galvanometern angewendet.

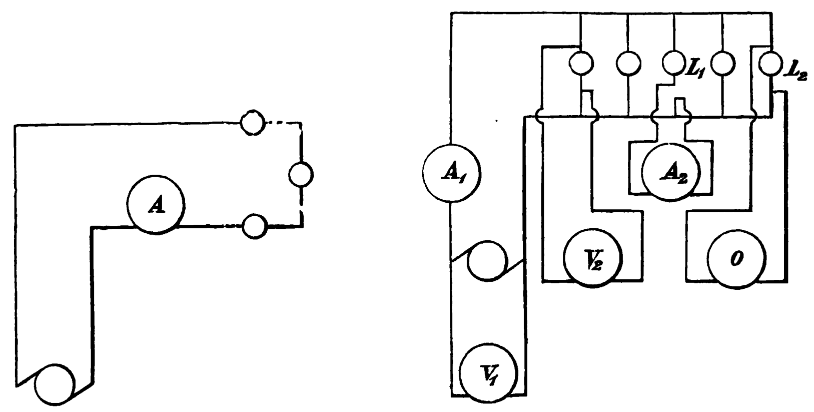


Fig. 55. Schaltung der Galvanometer. Fig. 56.

Bei vielen industriellen Gleichstrominstrumenten (insbesondere bei jenen, welche mehr Eisen besitzen) hat man beim Einschalten auf die Richtung des Stromes zu achten, da sich sonst Spannungsunterschiede bis zu ungefähr 10 Volt ergeben.

Montage. Die industriellen Galvanometer werden gewöhnlich auf eine Marmor-Platte montiert. Die Einstellung dieser Instrumente erfolgt nach an denselben ersichtlichen Marken, oder, falls die Instrumente eine freie Nullstellung haben, durch das Einstellen der Zeiger auf Null. Die Instrumente von Deprez-Carpentier können, wie bekannt, in jeder Stellung verwendet werden.

Das Aichen der Galvanometer.

Zum Aichen der wissenschaftlichen Galvanometer werden die Voltmeter (I. B., S. 43), insbesondere das Kupfer- und Silbervoltmeter, angewendet.

Das Aichen der industriellen Galvanometer geschieht mit Zuhilfe. nahme sogenannter Normalinstrumente. Als Normalinstrumente

verwendet man entweder verlässliche industrielle Galvanometer oder wissenschaftliche Galvanometer (z. B. Torsionsgalvanometer, Elektrodynamometer u. s. w.), welche auf obigem Wege geaicht wurden. Normalinstrument und zu aichende Instrumente werden

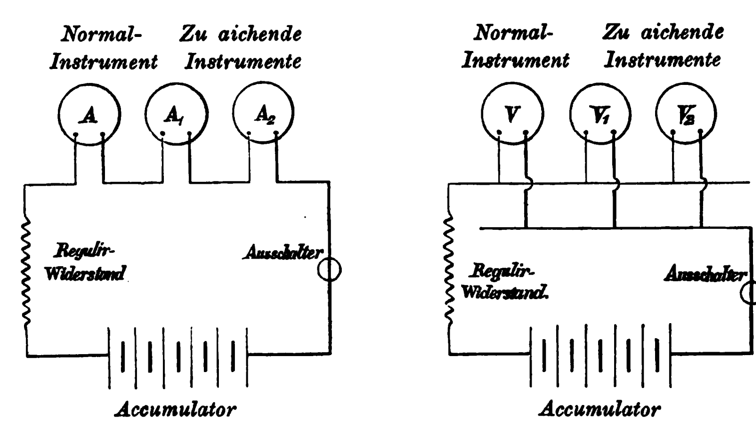


Fig. 57. Ampèremeter-Aichung.

Fig. 58. Voltmeter-Aichung.

1. hintereinander geschaltet (Ampèremeter-Aichung), Fig. 57, oder

2. parallel geschaltet (Volt- und Ohmmeter-Aichung), Fig. 58.

Der Aichstrom soll konstant (von gleich bleibender Stärke) sein (Accumulatorenstrom, Strom einer konstanten Batterie). Das Aichen mit Maschinenstrom ist unsicher und zeitraubend.

Der Vorgang beim Aichen ist der folgende: Das Normalinstrument wird mittelst des Regulierungswiderstandes auf die verlangte Stromstärke oder Spannung (beziehungsweise Widerstand) eingestellt und die betreffende Einstellung des Zeigers des zu aichenden Instrumentes markiert. In der Praxis stehen häufig die zum Aichen der Messinstrumente erforderlichen Normalinstrumente nicht zur Verfügung; von den vielen möglichen Methoden der Aichung unter solchen Verhältnissen seien einige von mir praktisch verwendete Methoden an Beispielen erläutert:

Beispiel: Mit einem Voltmeter zu 50 Volt als Normalinstrument sind Voltmeter zu 100 Volt zu aichen (Schaltung Fig. 58).

In diesem Falle ist dem Normalinstrumente der eigene Widerstand (1666 Ohm) vorzuschalten und jede Ablesung an diesem Instrumente mit zwei zu multiplicieren..

Schaltet man einem Voltmeter den ein-, zwei-, drei-, allgemein n-fachen Widerstand vor, so hat man die Angaben desselben mit zwei, drei, vier, allgemeinen $n+1$ zu multiplicieren. Schaltet man einem Ampèremeter den ein-, zwei-, drei-, allgemein n-fachen eigenen Widerstand parallel, so hat man die Angaben desselben mit zwei, drei, vier, allgemeinen $n+1$ zu multiplicieren.

Diese Methode habe ich seit dem Jahre 1887 bei der Aichung der Voltmeter auf sehr hohe Spannungen und der Ampèremeter auf sehr niedere Stromstärken, bei Abgang gleich geaichter Normalinstrumente, angewendet.

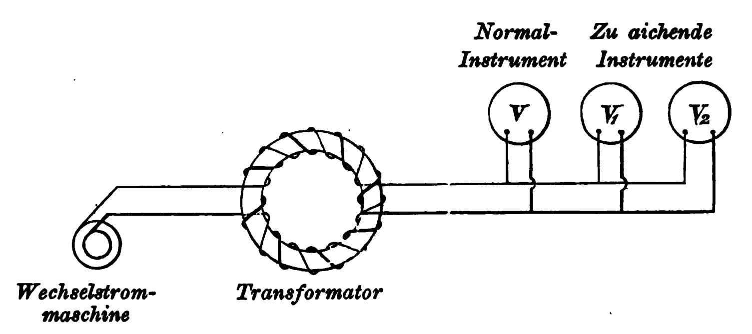


Fig. 59. Aichung vermittelst eines Transformators.

Beispiel: Die maximale Spannung einer Wechselstrommaschine sei 100 Volt; mit dieser Maschine ist ein Wechselstromvoltmeter zu 1000 Volt zu aichen, Fig. 59.

Zu diesem Zwecke dient der Transformator (I. B., §. 76, S. 78); derselbe verwandelt hochgespannte Ströme in niedrig gespannte Ströme und umgekehrt. Hat der Transformator das Übersetzungsverhältnis $\frac{1}{10}$, so wird ein Wechselstrom von 100 Volt und z. B. 1 Ampère in die dicken Windungen eintretend, in den dünnen Windungen einen Strom von $100 \times 10 = 1000$ Volt und 0·1 Ampère inducieren, welcher zum Aichen in der durch die Fig. 59 gegebenen Anordnung benützt werden kann.

Die Voltmeter für die k. u. k. Hofburg in Wien und Andere wurden von mir nach dieser Methode geaicht und in der Centrale der internationalen Elektricitätsgesellschaft in Wien mit einem Cardew'schen Instrumente übereinstimmend gefunden. Hier sei bemerkt, dass die Anzahl der Polwechsel der in beiden Fällen angewandten Ma-

schinen 5000 betrug, auf welchen Umstand im Gebrauche von Wechselstrominstrumenten der drei oben angeführten Gruppen, im Interesse der Genauigkeit der Angaben dieser Instrumente, zu achten ist.

Auch die Form der Stromkurven beeinflusst die Angaben der Instrumente dieser Gruppe. Da jede Wechselstrommaschine eine andere Stromkurve besitzt, so können die Instrumente mit Eisen überhaupt nur mit derjenigen Wechselstrommaschine geaicht werden, bei welcher sie verwendet werden sollen.

Beispiel: Mit der im December 1889 in der obgenannten Centrale aufgestellten großen Wechselstrommaschine mit einer Leistung von 400000 Watt (2000 Volt und 200 Ampère) soll während des Betriebes ein Voltmeter von 10—100 Volt geaicht werden.

Diese Aichung kann auf zweierlei Art erfolgen:

1. Indem man sämmtlichen Instrumenten einen gemeinsamen Widerstand vorschaltet.

Da dieser Widerstand sehr groß sein müsste, bewährt sich diese Methode nicht so gut, als die folgende:

2. Durch Transformation (Umsetzung) der Spannung im Verhältnisse 1 : 20.

Für die Schaltung kann das in Fig. 59 wiedergegebene Schema Verwendung finden.

47. Die Haupteigenschaften der industriellen Galvanometer und die Mittel zur Erreichung derselben.

1. Das Instrument muss bis auf 0·1 der Einheit genau und so empfindlich sein, dass es schon bei Schwankungen der elektrischen Konstanten von 0·1 der Einheit arbeitet.

Diese Eigenschaften werden erreicht:

a) Durch die präcise mechanische Ausführung des Instrumentes. Die Lager müssen aus harten Steinen (z. B. Achat) angefertigt werden, fein poliert und fest gefasst sein.

b) Durch Verwendung von Eisen, welches frei ist von zurückbleibendem Magnetismus. Dazu ist erforderlich, dass die Masse des Eisens gering, das Eisen selbst sehr weich und vollkommen ausgeglüht sei.

Nur bei einem Instrumente, welches frei ist von zurückbleibendem Magnetismus, wird es gleichgiltig sein, in welcher Richtung der Strom das Instrument durchfließt, und ob man bei der Kontrolle der Angaben bei den niederen Einheiten anfängt und zu den höheren Einheiten übergeht oder umgekehrt.

c) Die gegenseitige Einwirkung des festen auf den beweglichen Theil des Instrumentes muss stark genug sein, um dasselbe von un-

bedeutenden äußeren Einflüssen (benachbarten Stromleitungen, bewegten Eisenmassen u. s. w.) unabhängig zu machen.

d) Das Gewicht der beweglichen Masse muss ein Kleinstes sein. Geringe Eisenmassen sind bald gesättigt, also unabhängig von zurückbleibendem Magnetismus.

e) Die Eisenmassen müssen in der Kraftlinien-Richtung möglichst kurz sein, so zwar, dass sich die entmagnetisierenden Kräfte der Pole einem Maximum und die Weglängen der Kraftlinien im Eisen einem Minimum nähern.

f) Die Richtungs-Änderungen der Kraftlinien in den beweglichen Eisentheilen müssen sehr klein sein.

g) Die Erwärmung der Widerstände der industriellen Galvanometer darf bei dauernder normaler Beanspruchung nicht 30^0 C übersteigen. Für die Erwärmung der Widerstände ist die Wahl der zulässigen Beanspruchung des Drahtes in Ampère für 1 mm^2 maßgebend.

2. Das Instrument muss jede gewünschte Skala ermöglichen. Verlangt werden in den meisten Fällen entweder Skalen mit einer gleichen Theilung (gleichen Intervallen) oder mit einer größeren Theilung an der Gebrauchsstelle. Die gleiche Theilung wird durch die Anordnung des beweglichen und festen Theiles gegeneinander (hauptsächlich das vollkommene Ausbalancieren) erreicht, die größere Theilung an der Gebrauchsstelle ermöglicht die Inanspruchnahme eines Übergewichtes oder magnetischer oder elektrischer Einflüsse an dieser Stelle; die letzteren Mittel sind auch geeignet zur Herstellung jeder gewünschten Skala.

3. Das Instrument soll eine freie Nullstellung haben, das heißt, es darf in der Nullstellung der bewegliche Theil nicht an dem festen Theile anliegen. Nur solche Instrumente kann man nach dem Nullpunkte der Theilung aufmontieren.

4. Das Instrument muss handlich und billig sein, d. h. es muss eine einfache Konstruktion und mechanische Ausführung, sowie billiges Materiale Verwendung finden.

Die Erreichung der Eigenschaften unter 1. ist bei jeder elektrischen Beleuchtungsanlage von ganz besonderer Bedeutung. Sind diese Eigenschaften mangelhaft, so zeigt das Instrument unrichtig und die gemessene Leistung der Anlage wird zu klein oder zu groß sein; ist dieselbe zu klein, so entspricht sie ihrem Zwecke nur unvollkommen, ist dieselbe zu groß dann versagt entweder der Antriebsmotor oder die Isolation der elektrischen Maschine, der Leitungen und der Bogenlampen leidet Schaden und die Lebensdauer der Glühlampen wird verkürzt.

5. Das Galvanometer darf von in der Nähe befindlichen Strömen und Magneten nicht beeinflusst werden. Zu diesem Zwecke werden an

den Instrumenten in der Richtung von nahen Strömen und Magneten Eisenmäntel angebracht.

48. Die Prüfung der industriellen Galvanometer besteht

1. in der Prüfung der Haupteigenschaften,

2. in der Vergleichung der Angaben des Instrumentes mit denen eines Normalinstrumentes und

3. in der Prüfung der Isolation.

Die Prüfung der Isolation geschieht durch die Messung des Widerstandes zwischen den Windungen und dem Körper des Instrumentes und kann schon, bei nicht lebensgefährlichen Spannungen, durch Berühren der Klemmen mit der einen Hand und durch augenblickliches Berühren des Körpers mit der anderen Hand ermittelt werden (physiologische Wirkung).

49. Der Berechnung der angeführten industriellen Galvanometer liegt das Ohm'sche Gesetz:

$$W = \frac{E}{J} \text{ zugrunde.}$$

1. Volt- und Ohmmeterberechnung:

Die Widerstände dieser Instrumente bestehen gewöhnlich aus Kupfer (wirksamer Widerstand) und Manganin, Kruppin, Neusilber, Rheotan oder Konstantan (Zusatz- oder Ballast-Widerstand). Der sogenannte wirksame Widerstand besteht aus Kupfer, weil es erforderlich ist, viele Windungen von geringem Widerstande auf das Eisen einwirken zu lassen. Wenn das bewegliche Eisen leicht ist, genügen etwa 4000 wirksame Windungen von 0·3 *mm* Durchmesser. Der Zusatzwiderstand besteht aus Manganin, Kruppin, Neusilber, Rheotan oder Konstantan, weil der specifische Widerstand des Neusilbers etwa 20, des Manganins etwa 25, des Rheotans etwa 30, des Konstantans etwa 40, des Kruppins etwa 50mal so groß ist, als der specifische Widerstand des Kupfers (0·017 Ohm) und das Raumerfordernis für Drähte aus diesen Leitern selbst bei Instrumenten mit sehr hohen Spannungen oder Widerständen ein geringes ist. Der wirksame und der Zusatzwiderstand sind hintereinander geschaltet. Da der Zusatzdraht gewöhnlich der dünnere ist und eine geringere Beanspruchung zulässt, als der Kupferdraht, wird die zulässige Beanspruchung in Ampère für 1 mm^2 auf den ersteren bezogen.

Die folgenden Beispiele stützen sich auf die zweckentsprechenden Annahmen:

a) Die zulässige Beanspruchung des Zusatzdrahtes für 1 mm^2 sei etwa 1 Ampère.

b) Der Durchmesser des Kupfer- sowie des Zusatzdrahtes betrage 0·2 *mm* (Querschnitt = 0·0314 *mm*²), also die Stromstärke laut *a)* 0·0314 ∾ 0·03 Ampère.

c) Der wirksame Widerstand messe 400 Ohm.

Beispiel: Auf Grund der letzten Annahmen sind Voltmeter für die maximalen Spannungen von 10, 50, 100, 200 und 1000 Volt zu berechnen.

Maximale Spannung	Gesammtwiderstand $W = \frac{E}{J}$	Vorschalt-Widerstand
10 Volt	$\frac{10}{0·03}$ = 333 Ohm	0 Ohm
50 „	$\frac{50}{0·03}$ = 1666 „	1266 „
100 „	$\frac{100}{0·03}$ = 3333 „	2933 „
200 „	$\frac{200}{0·03}$ = 6666 „	6266 „
1000 „	$\frac{1000}{0·03}$ = 33333 „	32933 „

Aus diesen Beispielen ersieht man, dass der Gesammtwiderstand eines Voltmeters, bei Berücksichtigung der obigen Annahmen, beiläufig der dreißigfachen maximalen Spannung gleich ist.

Da nach Annahme der wirksame Widerstand jedes Voltmeters rund 400 Ohm beträgt, so ergeben sich die Zusatzwiderstände aus den Gesammtwiderständen durch einfache Subtraktion.

Widerstand = Gesammtwiderstand — 400 Ohm.

2. Ohmmeterberechnung. Jedes für eine bestimmte Betriebsspannung gebaute Voltmeter kann in derselben Anlage als Ohmmeter verwendet werden. Zu diesem Zwecke ist es nur erforderlich, dass das Instrument nicht nach Volt, sondern nach Ohm geaicht wird.

3. Ampèremeterberechnung. Diese Instrumente berechnet man nach denselben Regeln wie die Voltmeter.

Der wirksame Widerstand muss bei einem Ampèremeter aus ebensoviel Ampèrewindungen bestehen, als bei einem Voltmeter gleicher Konstruktion. Besitzt demnach das Voltmeter 4000 Windungen bei 0·03 Ampère oder 4000.0·03 Ampèrewindungen = = 120 Ampèrewindungen, so genügen diese Ampèrewindungen für jedes Volt- und Ampèremeter derselben Konstruktion; ein Ampèremeter zu 120 Ampère hat demnach nur 1 Windung, ein Ampèremeter zu 60 Ampère 2 Windungen u. s. w.

50. Die Schaltungen der industriellen Galvanometer. Die Widerstände der Volt- und Ohmmeter (Widerstand und Zusatz) werden hintereinander geschaltet. Die von mir bei Ampèremetern zumeist angewendeten Schaltungen sind:

1. Die Schaltung sämmtlicher Windungen hintereinander. Ein Ampèremeter mit einem Umschalter versehen, welcher gestattet, einen Theil, zwei-, drei-, vier-, allgemein n-Theile der Windungszahl in den Stromkreis hintereinanderzuschalten, zeigt die einfachen, doppelten, dreifachen, vierfachen, allgemein n-fachen Stromstärken an. Ist den hintereinander geschalteten Windungen der einfache, zweifache, dreifache, allgemein n-fache Widerstand derselben parallel geschaltet, so sind die Angaben desselben mit zwei, drei, vier, allgemein $n + 1$ zu multiplicieren.

2. Die Parallelschaltung sämmtlicher Windungen. Diese Schaltung wird für hohe Stromstärken angewendet.

3. Die Hintereinander- und Parallel-Schaltung sämmtlicher Windungen. Werden bei einem Instrumente die Windungen hintereinander und parallel geschaltet, so erhält dasselbe zwei Skalen und kann für niedere und hohe Stromstärken Verwendung finden.

II. Elektrische Arbeitsmesser (Elektricitätszähler).

51. Einleitung und Eintheilung. Die elektrische Arbeit wird durch das Produkt aus Ampère × Volt × Zeit ausgedrückt (I. B., S. 26). Die bisherigen Instrumente gestatten durch eine Beobachtung immer nur eine Konstante des elektrischen Stromes zu messen.

Apparate, welche durch eine einzige Beobachtung die elektrische Arbeit messen, nennt man elektrische Arbeitsmesser.

Dieselben werden eingetheilt in:

1. Coulombmesser, 2. Voltcoulombmesser.

Bleibt bei einer geleisteten elektrischen Arbeit die Spannungsdifferenz gleich (konstant), so braucht man nur die gelieferte Elektricitätsmenge (Coulomb) zu messen, denn 1 Ampère in der Sekunde = 1 Coulomb (I. B., § 34, S. 21) gibt mit der konstanten Spannung multipliciert, die elektrische Arbeit.

52. Der Coulombzähler nach Edison, Fig. 60. Edison misst die Coulomb auf elektrolytischem Wege (I. B., § 49) durch zwei Zinkvoltameter; diese bestehen aus von einander isolierten Zinkplatten *Zn*, welche in eine 20%ige Zinkvitriollösung eingetaucht sind. Das Zinkvitriol, bestehend aus Zink und Schwefelsäure, wird durch den elektrischen Strom

in diese seine Bestandtheile zerlegt; das Zink scheidet sich an der negativen, die Schwefelsäure an der positiven Zinkplatte ab. Die Gewichtsabnahme der positiven Platte dient als Maß des Stromes (I. B., § 34, ein Coulomb zersetzt in 1 Sekunde 0·3371 *mg* Zink). Dieser Elektricitätszähler wird in eine Zweigleitung, Fig. 60, eingeschaltet und darf nur bis zu einer maximalen Stromstärke beansprucht werden.

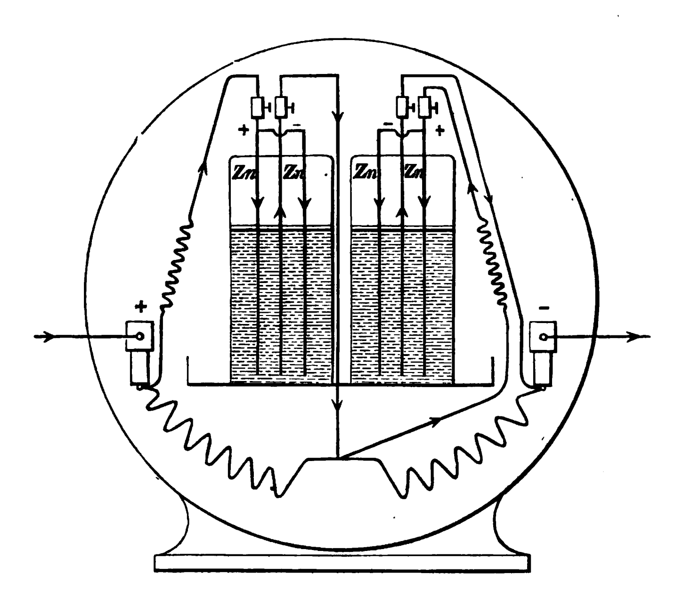


Fig. 60. Coulombzähler nach Edison.

Beispiel einer ausgeführten Messung. Konstante des Apparates: 1 *mg* aufgelöstes Zink = 1 Lampenstunde.

1888	Plattengewichte und Lampenstunden					
	Dat.	Gew.	Dat.	Gew.	Dat.	Gew.
eingesetzt	12·5	225·32	19·5	230·09	26·5	215·31
herausgenommen	19·5	224·81	26·5	228·88	2·6	214·47
Differenz		0·51		1·21		0·84
Lampenstunden		510		1210		843
eingesetzt u. s. w.						

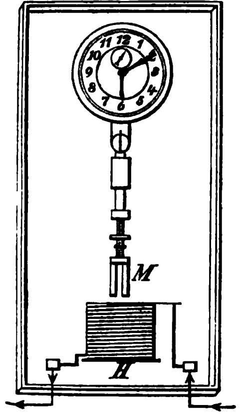


Fig. 61. Coulombzähler nach Aron.

53. Der Coulombzähler nach H. Aron, Fig. 61, besteht aus einer Pendeluhr; die Pendellinse ist durch einen Stahlmagnet *M* ersetzt, welcher durch die Hauptstromspule *H* so beeinflusst wird, dass das Pendel rascher schwingt.

Dieser Elektricitätszähler ist mit einer Normaluhr (Uhr im Messraume, eventuell Taschenuhr des Kontrollierenden) auf gleiche Schwingungsdauer einreguliert.

Beispiel einer ausgeführten Messung:

Voreilung	Ampèrestunden	Lichtstunden à 0·75 Ampèrestunden
1 Minute	6·0	8·0

1 Ampèrestunde = 13·33 Schwingungen Voreilung.
1 Minute = 80 Schwingungen.

18...... Monat	Datum	Normaluhr	Elektricitätszähler	Ganze Differenz Stunden	Min.	Letzte Differenz Stunden	Min.	Lichtstunden
Mai	1	1032	1115	0	43	1	7	536
„	8	819	109	1	50	2	3	984
„	15	1117	320	3	53	0	58	464
„	22	350	841	4	51	0	7	56
„	29	125	53	4	58	1	15	600
Juni	5	925	338	6	13			

54. Der neuere Elektricitätszähler nach H. Aron, Fig. 62. Das einfache Uhrwerk des letzten Zählers ist ersetzt durch ein Differentialuhrwerk mit 2 Pendeln. Die Pendellinse des rechten Pendels ist ein Stahlmagnet, unterhalb welchem sich wieder die Hauptstromspirale befindet; wird letztere von einem Strome durchflossen, so schwingt, falls beide Pendel auf gleiche Schwingungsdauer eingestellt waren, das rechte Pendel desto schneller, je größer die Stärke des

Stromes ist. Fig. 63 zeigt den Ampèrestundenzähler für das Dreileitersystem (Gleichstrom).

Die Konstanten der Elektricitätszähler in Fig. 61 bis 63 müssen, sowie diejenigen sämmtlicher Apparate mit Stahlmagneten, oft neu bestimmt werden.

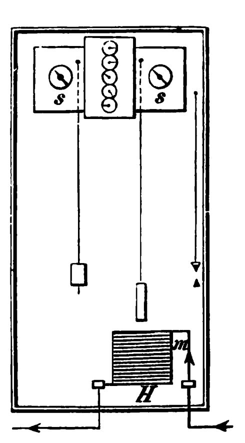


Fig. 62. Coulombzähler nach Aron.

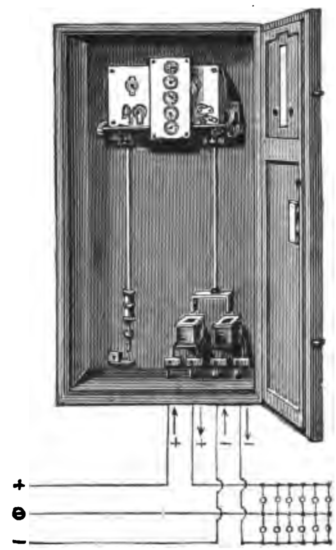


Fig. 63. Coulombzähler nach Aron. Dreileitersystem.

55. Die Voltcoulumbzähler nach Ayrton & Perry und nach Siemens & Halske beruhen im Principe auf dem Elektrodynamometer der letzteren Firma. Die dünnen Windungen geben ein Maß für die Spannungsdifferenz, die beweglichen dicken Windungen geben ein Maß für die Stromstärke.

56. Der Voltcoulombzähler (Wattstundenzähler) nach H. Aron, 64 und 65. Der Hauptbestandtheil dieses Elektricitätszählers ist der des Coulombzählers, Fig. 62, ein Differentialuhrwerk mit zwei Pendeln von gleicher Schwingungsdauer. Die Linse des rechten Pendels ist durch eine Rolle mit dünnem Drahte (Voltrolle) *V* ersetzt, welche in einer zweiten Rolle mit dickem Drahte (Ampèrerolle) *A* frei schwingt. Die gegenseitige Einwirkung der beiden Rollen aufeinander misst die elektrische Arbeit (Voltampère in der Sekunde).

Bei den neueren Instrumenten dieser Konstruktion ist der Zusatzwiderstand zur Voltrolle auf einer in dem Apparatkasten links befestigten Messingröhre *R* aufgewickelt.

In Fig. 65 ist derselbe Wattstundenzähler in perspektivischer Ansicht wiedergegeben.

57. Bei der Montage und Inbetriebsetzung der Aron'schen Apparate, Fig. 62 bis 65, ist insbesondere auf die senkrechte Aufhängung derselben und die gleiche Schwingungsdauer der beiden Pendel (ohne Strom) zu achten. Die Nachregulierung auf gleiche Schwingungsdauer erfolgt am linksseitigen Pendel; der Gang der Pendel ist derselbe, wenn die auf beiden Seiten des Zifferblattes befindlichen Springer *s* stets dieselbe Lage gegen einander beibehalten.

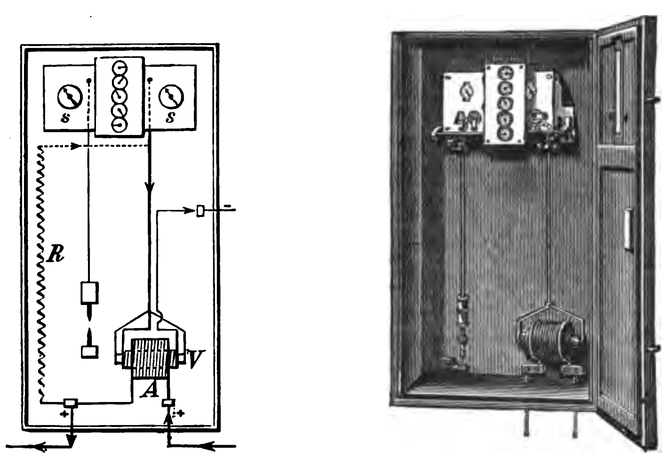


Fig. 64. Volt-Coulombzähler nach Aron. Fig. 65.

Die Zähler Fig. 61 bis 63 werden in die Hauptleitung, gerade so wie ein Ampèremeter, eingeschaltet; bei dem Zähler in Fig. 64 und 65 wird die Ampèrerolle ebenfalls wie ein Ampèremeter, die Voltrolle wie ein Voltmeter eingeschaltet.

Der eine Pol der Voltrolle wird in der Regel von der durch das Instrument führenden Hauptleitung, der zweite Pol von der Dynamomaschine abgezweigt. Die Gebrauchsanweisung dieses Elektricitätszählers ist von dem Erfinder folgend übersichtlich zusammengestellt worden:

Wichtige Punkte, welche bei der Montage des Aron'schen Elektricitätszählers zu beachten und die in der Anweisung genauer erläutert sind:

1. Wahl eines Ortes für die Aufhängung des Zählers, der möglichst trocken und bequem erreichbar sein soll. Vorsichtige Entfernung der Bindfäden.

2. Lothrechte Aufhängung nach dem linken Pendel.

3. Gute Befestigung des Gehäuses.

4. Kontrollierung des Ausschlages bei beiden Pendeln (50 bis 60 *mm*).

5. Man reguliere die Werke nach der Anweisung, indem man die springenden Zeiger zu beiden Seiten des Differentialwerkes beobachtet.

6. Nach der Regulirung schalte man den Zähler in den Stromkreis und beobachte, am besten mit einem Polsucher, ob die Pole richtig angeschlossen sind.

7. Im Anfange lese man täglich ab, um sich zu überzeugen, dass der Zähler richtig funktioniert.

8. Hierauf ziehe man den Zähler monatlich und regelmäßig aut und lese ab.

9. Beim Ablesen sehe man nach, ob die Pendel schwingen; steht eines der Pendel, so ist das Resultat der Ablesung unrichtig.

10. Für die Ablesung dienen folgende Beispiele, die Berechnung zeigt das folgende Schema:

Zähler Nr. 4285 für 50 Ampère.
1 Strich = 1·07 Ampère-Stunden.

Datum	Stand der Zähler	Differenz	Ampère-Stunden
2. März	0		
3. April	119	119	127·3
1. Mai	397	278	297·5
2. Juni	1101	704	753·3
30. „	1998	897	959·8
2. August	3229	1231	1317·2

In den nachfolgenden 3 Figuren 66 bis 68 sind die Zeigerstellungen der Ablesungen vom 1. Mai, 2. Juni und 30. Juni abgebildet. Ehe man die nöthige Übung im Ablesen hat, fange man mit den Einern des obersten Zifferblattes an und schreibe die Zahlen von rechts nach links; man beachte die Ablesung vom 1. Mai, wo man 397 und nicht 497 abzulesen hat, da sonst am dritten Zifferblatte der Zeiger nicht nahe der 4, sondern in der Nähe der 5 stehen müsste, weil 397 nahe

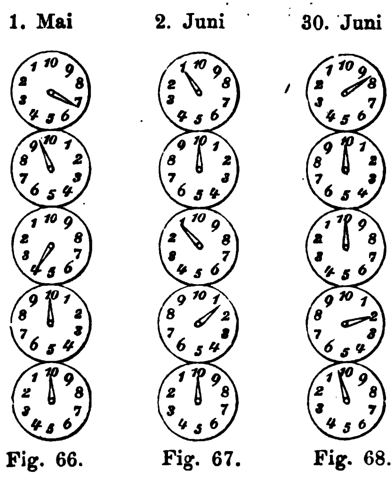


Fig. 66. Fig. 67. Fig. 68.

Zifferblätter der Elektricitätszähler.

400, nicht nahe 500 ist. H. Aron hat seine Wattstundenzähler auch für das Dreileitersystem und für Wechsel- und Drehstrom eingerichtet.

58. Neuester Uhrenzähler nach H. Aron.[1])

Der neue Apparat, Fig. 69, beruht im Wesentlichen auf demselben Grundsatze, wie alle Elektricitätszähler dieses Systems, d. h. auf der Änderung der Schwingungsdauer eines Pendels durch den Stromverbrauch. Es unterscheidet sich der Zähler neuer Konstruktion von den bisherigen dadurch, dass er



Fig. 69. Neuester Volt-Coulombzähler nach Aron.

1. elektrisch aufgezogen wird;

2. dass er sehr kleine Pendel hat, dadurch selbst ohne deren Arretierung transportfähig ist und von selbst angeht, sobald die nöthige Spannung vorhanden ist;

3. dass er eine Einrichtung hat, um die Gangfehler zu eliminieren, und dass er auch unreguliert richtig misst.

Beschreibung des Uhrwerkes. Das Werk, Fig. 70 bis 72 (der Deutlichkeit wegen sind in den Figuren nicht immer alle Theile gezeichnet), besteht aus zwei Uhrwerken mit Steigrad und Pendel, welche so auf ein drittes Werk, das Differentialwerk (q, v_1, v_2, b_1) wirken, dass letzteres die Differenz ihrer Bewegungen anzeigt. Um die Triebkraft des einen gemeinsamen Aufzuges auf beide Werke so zu übertragen, dass sie unabhängig von einander arbeiten können, ist außer vorgenanntem, zur Registrierung dienendem Differentialwerk, noch ein zweites, stärker gebautes vorhanden. Die treibende Kraft des Aufzuges ist mit der eine Kreuzwelle tragenden Achse k durch eine aus hartem Stahldraht gewundene Feder g_3 derartig verbunden, dass die Achse k nur in einem Sinne gedreht werden kann. Die Feder dient gleichzeitig als Kontrefeder,

---

[1]) Vgl. Elektrotechnische Zeitschrift, 1897, S. 372 bis 375. Zeitschrift für Elektrotechnik, 1897, S. 552 bis 559. Elektrotechniker, 1897, Nr. 9.

d. h. sie verhindert, dass der beim Aufziehen entstehende Rückschlag das Werk momentan zurücktreibt. Die Achse k trägt auf der Kreuzwelle das leicht bewegliche Planetenrad b_2, welches mit den beiden

Fig. 70. Neuester Aron-Zähler. Kreuzriss.

Fig. 71. Neuester Aron-Zähler. Aufriss.

Kronrädern f_1 und f_2 in Eingrift steht. Versetzt man nun die Achse in Drehung, so wird das Planetenrad b_2 durch seinen Eingriff die Kronräder f_1 und f_2 mitnehmen. Solange dieselben mit gleicher Geschwindigkeit gehen, steht das Planetenrad b_2 auf seiner Kreuzwelle still, sobald jedoch verschiedene Geschwindigkeiten eintreten, beginnt das Planetenrad b_2 auf dem langsamer laufenden Kronrad abzurollen, sodass beide Kronräder gleichzeitig immer derselben Triebkraft ausgesetzt sind, ohne in der Verschiedenartigkeit ihrer Geschwindigkeit gestört zu

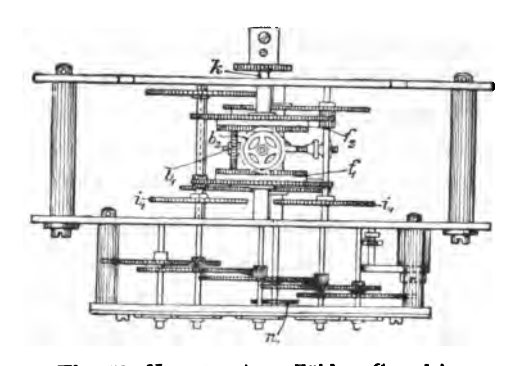


Fig. 72. Neuester Aron-Zähler. Grundriss.

werden. Jedes Kronrad steht durch einen Eingriff mit je einem Steigrad i_1 in Verbindung, dessen Bewegung durch die in seine Zähne eingreifenden Paletten eines schwingenden Ankers i_2 reguliert wird. Das rechte Steigrad steht direkt, das linke dagegen, um die entgegengesetzte Drehrichtung zu erzielen, durch ein Beisatzrad i_3 mit je einem Kronrade des ersten Differentialwerkes in Verbindung; die Kreuzwelle q dieses ersten Differentialwerkes zeigt in bekannter Weise die Gangdifferenz der beiden Werke an.

Es besteht also zwischen den beiden Differentialwerken der wesentliche Unterschied, dass die Kreuzwelle k des einen die halbe Summe, die des andern, q, aber die halbe Differenz der Winkelgeschwindigkeiten der zugehörigen Kronräder zur Umdrehungsgeschwindigkeit hat. Von der Achse n_1 des ersten Differentialwerkes wird die Bewegung in weiter unten beschriebener, geeigneter Weise auf ein Zählwerk übertragen. Auf jeder Achse k_1 der beiden Anker ist je ein Pendel unverrückbar befestigt, das an seinem unteren Ende anstatt der Pendellinse eine Rolle m_1 trägt, die mit Kupferdraht bewickelt ist.

An dem hinteren Lagerbock jeder Pendel- bezw. Ankerachse sind zwei kleine, isolierte Klemmen N befestigt, die dazu dienen, die Verbindung zwischen den an den Pendelstangen isoliert hochgeführten Enden der Pendelspulen unter sich, sowie mit den übrigen Theilen des Zählers herzustellen.

Zur ungefähren Gangregulierung dient ein an dem oberen verlängerten Ende der rechten Pendelstange befindliches Gegengewicht m_2, welches sich auf- und abwärts schrauben lässt.

Umschaltung. Diese Einrichtung bezweckt den Gangfehler zu eliminieren, damit der Zähler auch unreguliert richtig misst; sie besteht darin, dass durch ein Umschaltwerk in Perioden von ungefähr 20 Minuten die Drehungsrichtung des Zählwerkes abwechselnd umgekehrt wird, während gleichzeitig der Einfluss des Stromes sein Zeichen umkehrt. Letzteres geschieht hier dadurch, dass die Richtung des Stromes im Nebenschluss durch die Umschaltung umgekehrt wird. Es findet somit für den Fehler des Ganges nur eine Umkehrung statt, für den Strom aber zwei Umkehrungen, es markiert daher der Zähler den Stromverbrauch in einem Sinne, während der Fehler des Ganges verschwindet.

Die Einrichtung ist folgende:

Auf der gemeinsamen Antriebswelle k für beide Werke ist ein Rad aufgesetzt; dasselbe greift in ein Rad h, Fig. 73, ein, welches auf der Achse z leicht drehbar angeordnet ist. An dem Rad h befindet sich ein Arm m, Fig. 75, welcher das äußere Ende einer kleinen Zugfeder

l trägt. Das innere Ende dieser Feder ist an der Achse *z* befestigt; diese wird an der Drehung durch den Stift *r*, welcher hinter dem Hebel *p* liegt, gehindert. Das Rad *h* wird durch die Bewegung der gemeinsamen Welle herumgedreht und spannt mit *m* die Feder *l* an. Hat es eine Umdrehung gemacht, so hebt der Stift *w* mittelst des Hebels *v* den Hebel *p*, welcher mit ihm eine gemeinsame Achse hat,

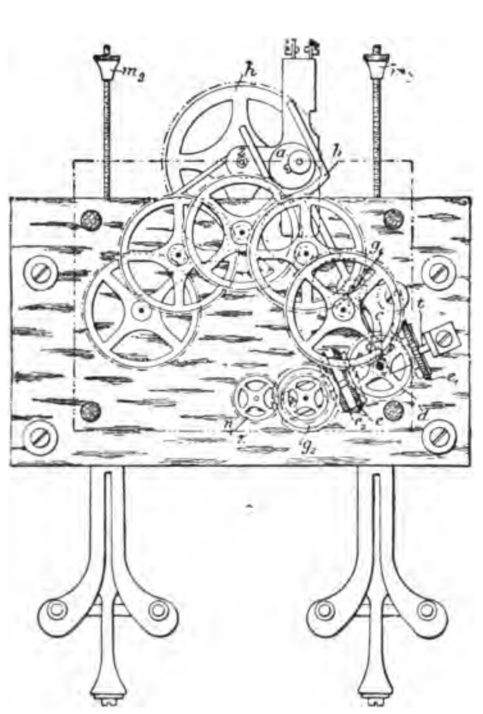


Fig. 73. Neuester Aron-Zähler. Umschaltung und Zeigerwerk.

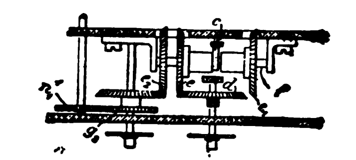


Fig. 74. Vorrichtung zur Änderung der Drehrichtung.

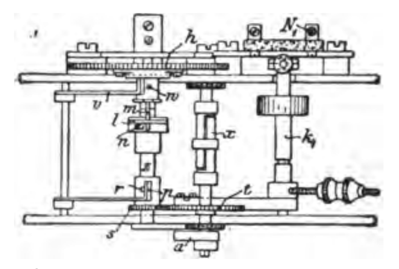


Fig. 75. Antrieb des Stromwechslers.

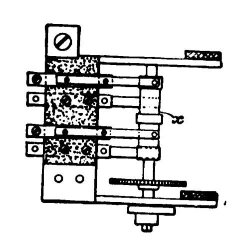


Fig. 76. Stromwechsler.

hoch und macht den Stift *r* frei, sodass infolge der gespannten Feder *l* die Achse *z* um 360° nachgezogen wird, bis der Stift *n* an den Arm *m* einen Anschlag findet. Dreht sich nun das Rad *h* weiter, so fallen die Hebel *v* und *p* wieder herunter, der Stift *r* liegt wieder hinter Hebel *p* und die Feder *l* kann von Neuem gespannt werden.

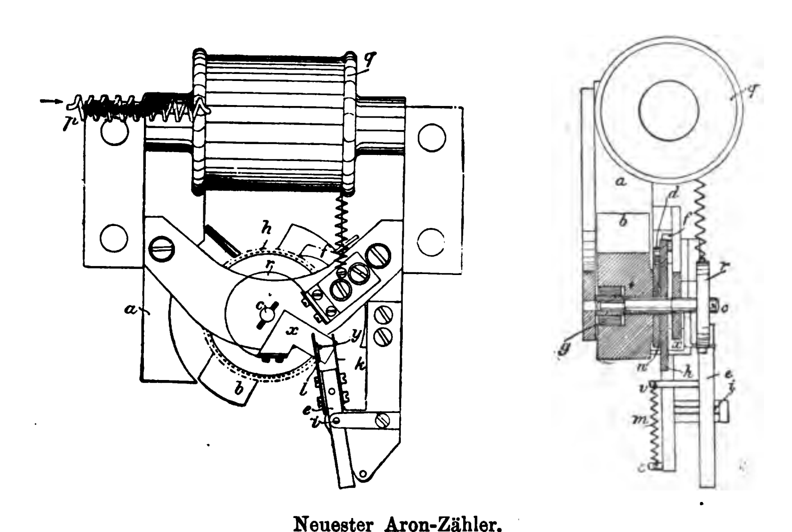
Auf der Achse *z* sitzt noch ein Rad *s*, welches sich mit einem Rade *t* mit doppelter Zähnezahl im Eingriff befindet, sodass bei einer Umdrehung des Rades *s*, Fig. 75, nur eine halbe des Rades *t* erfolgt.

Dadurch wird ein mit Rad *t* auf gemeinsamer Achse sitzender Excenter *a* nach rechts oder links in eine extreme Lage gebracht. Die Bewegung des Excenters *a* wird auf den Hebel *b*, Fig. 73 und 74 übertragen, welcher bei g_1 seinen Drehpunkt hat und mit einem Stifte *c* ein Rohr, welches zwei conische Räder *e* und e_1 abwechselnd mit dem Zeigerwerkrade *d* in Eingriff kommen. Die Räder *e* und e_1 sind mit dem Rade e_2 so verbunden, dass sie wohl hin- und hergeschoben, aber gegen dasselbe nicht verdreht werden können, folglich müssen sie an der Drehung desselben theilnehmen. Drehen sich nun diese beiden Räder *e* und e_1 in gleicher Richtung, so wird sich das Zeigerwerkrad *d* verschieden drehen, je nachdem es mit *e* oder mit e_1 sich im Eingriffe befindet. Daraus folgt, dass nach jeder Bewegung des Excenters eine Änderung in der Drehrichtung des Zeigerwerkes erfolgt. Die Achse des Excenters *a* trägt jedoch noch einen Kommutator *x*, Fig. 75 und 76; derselbe schaltet bei jeder Bethätigung des Excenters den Strom in den Nebenschlusspulen um, so dass das Pendel, welches erst beschleunigt wurde, jetzt verzögert wird u. s. w. Das Spiel ist nun folgendes: Angenommen, das rechte Pendel wird zuerst beschleunigt und das linke verzögert, so sei Rad *e* im Eingriff mit dem Zeigerwerksrad *d*, folglich wird *d* sich vorwärts bewegen, da g_2, welches mit dem Differentialwerk verbunden ist, sich im Sinne des Uhrzeigers dreht. Wird nun der Excenter um 180° herumgeworfen, so wird das Rad e_1 mit dem Rad *d* in Eingriff gebracht und die Bewegung wird eine zu dem Rade g_2 entgegengesetzte; da jedoch das linke Pendel beschleunigt und das rechte verzögert wird, so hat das Differentialwerk und mit ihm das Rad g_2 seine Richtung umgekehrt, und die Folge ist, dass, da die beiden Umkehrungen sich aufheben, das Zählwerk in demselben Sinne weitergeht, während die Gangfehler verschwinden.

Der Aufzug. Der Aufzug, Fig. 77 und 78, besteht aus einem hufeisenförmigen Elektromagneten *a*, zwischen dessen ausgedrehten Polen der Anker *b* und die Achse *c* schwingen kann. Der Anker *b* ist auf der Achse *c* leicht beweglich und trägt vorn ein Sperrad *n*, in welches der an dem zweiten Sperrad *h* angeschraubte Sperrkegel *d* eingreift; in das Rad *h* greift wieder der am Gestell befestigte Sperrkegel *f*. In dem Anker befindet sich eine Ausdrehung, in welcher eine Zugfeder *g*, wie bei einem Federhause, Aufnahme findet.

Das innere Ende der Feder *g* ist an einer in die Ausdrehung hineinragenden, am Gestell befindlichen Lagerbüchse für den Zapfen der Achse *c* befestigt und mit ihrem äußeren Ende an dem Anker angehängt, so dass ein beweglicher und ein unbeweglicher Befestigungspunkt entsteht.

Vor dem Gestell befindet sich ein Kontaktstift *y*, welcher mittelst eines gekröpften Klobens *x* am Anker befestigt ist und in eine bewegliche Gabel *e* eingreift, sodass dieselbe bei der Drehung des Ankers über eine, durch die Feder *m* bedingte labile Gleichgewichtslage hinweggeführt wird und ein Kippen entsteht. Der eine Zinken *l* der Gabel *e* ist ein Leiter, dagegen ist der Zinken *k* isoliert. Ist der Aufzug abgelaufen, so liegt der Zinken *l* an dem Stift *y* und der Stromkreis der Spule *q* ist geschlossen. Dadurch wird der Anker angezogen, welcher mittelst des Stiftes *y* die Gabel *e* mitnimmt, sodass sie nach der anderen Seite kippt und den Strom unterbricht, indem sich jetzt der Zinken *k* an den Stift *y* legt. Die magnetische Wirkung hört nun auf, und der Anker wird von der Feder *g* zurückgezogen und nimmt mittelst des Sperrades *n* und des Sperrkegels *d* das auf der Achse *c* befestigte Sperrad *h* und somit die Achse selbst mit. Beim Aufziehen jedoch wird das Sperrad *h* durch den Sperrkegel *f* festgehalten, während sich das Sperrad *n* drehen kann.



Neuester Aron-Zähler.

Fig. 77. Aufzug in Ansicht. **Fig. 78. Aufzug im Schnitt.**

Während des Aufziehens gleitet der Stift *y* auf der Kontaktfläche, so dass sich beide Theile immer metallisch blank reiben; ferner ist damit noch der Vortheil verbunden, dass die Schließungsstelle von der Unterbrechungsstelle räumlich getrennt ist und der Unterbrechungsfunke nicht die Schließungsstelle verbrennen kann.

S c h a l t u n g. Fig. 79 erläutert die Schaltung des Zweileiter-Zählers. P bedeutet die Windungen des Aufzugselektromagneten, R den Widerstand vor den Pendeln, durch dessen genaue Bemessung die Konstante des Zählers auf die gewünschte Höhe gebracht wird. Dieser Widerstand ist hinreichend groß, den Wattverbrauch im Nebenschluss klein zu halten, derselbe beträgt für die üblichen Verhältnisse je nach Größe und Art des Zählers 1 bis 2 Watt. Die Hauptstromspulen sind mit S, die Nebenschlusspulen an den Pendeln mit s bezeichnet; O, die Verbindung zwischen Hauptstrom und Nebenschluss, wird beim Aichen entfernt, um den Nebenschluss gesondert vom Hauptstrom zu halten.

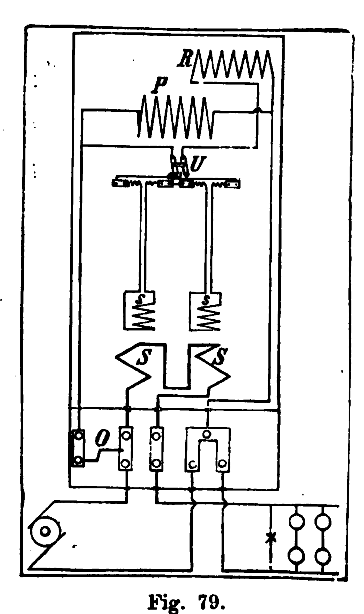


Fig. 79.
Zweileiter Volt-Coulomb-Zähler nach Aron. Schaltungsschema.

Beim Aichen vieler Zähler schaltet man sodann alle Nebenschlüsse parallel, die Hauptstromspulen hintereinander in die Spannungsleitung. Dadurch ist einerseits der Stromverbrauch beim Aichen geringer, andererseits werden die Zähler von einander unabhängig.

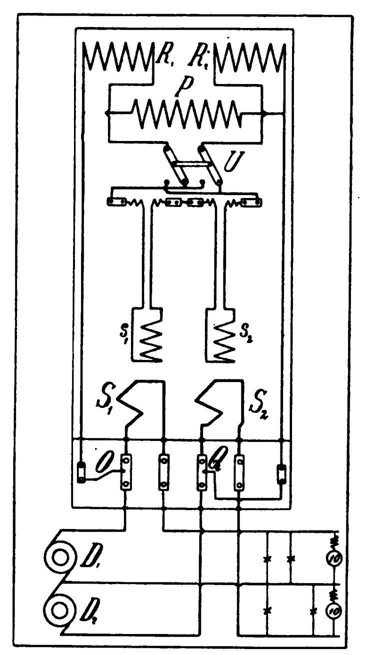
Fig. 80 veranschaulicht das Schaltungsschema für den Dreileiter-Zähler. P stellt die Windungen des Aufzugs-Elektromagnetes vor. R_1 und R_2 sind Vorschaltwiderstände, welche an die Klemmen O und Q anschließen. D_1 und D_2 bezeichnen die Dynamos.

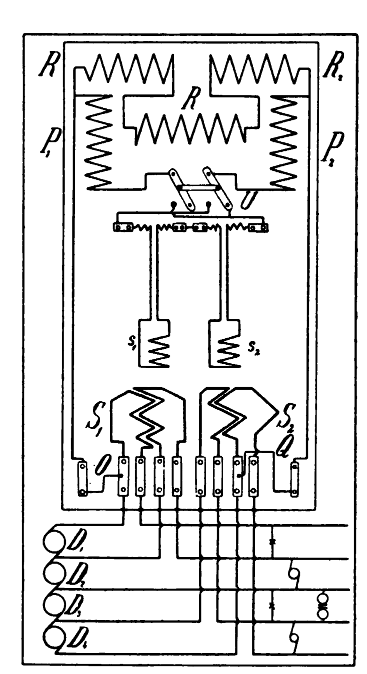
Fig. 81 gibt das Schaltungsschema eines Fünfleiter-Zählers wieder. Zwischen den Klemmen O und Q liegen der Widerstand R, der Elektromagnet R und der Widerstand R_2. Die Widerstände P_1 und P_2 sind den Pendelwindungen vorgeschaltet. D_1 bis D_4 deuten die vier Dynamos des Fünfleitersystemes an. Die übrigen Buchstaben der letzten beiden Figuren dienen zu denselben Bezeichnungen wie die gleichen Buchstaben der Fig. 79.

A l l g e m e i n e s. Der Zähler kann ebenso für Gleichstrom als auch für Wechselstrom Verwendung finden, er hat dabei insbesondere für Wechselstrom die Vorzüge eines guten Wattmeters, was er ja in Wirklichkeit ist, nämlich unabhängig von der Wechselzahl zu messen und die Phasenverschiebung sehr vollkommen zu berücksichtigen. Der

Aufzug soll freilich für eine vorher ungefähr bestimmte Wechselzahl eingerichtet sein; auf die Messung selbst hat das aber keinen Einfluss.

Noch besonders hervorzuheben wäre die unbegrenzte Empfindlichkeit des Zählers, so dass man wohl sagen kann, er messe auch den geringsten Stromverbrauch, und zwar gleichmäßig von 0 bis zum Maximum. Dies findet deshalb statt, weil der Fehler der Regulierung, welcher der Genauigkeit des Uhrenzählers Schranken setzte, hier fortfällt. Den





Neuester Volt-Coulomb-Zähler nach Aron. Schaltungsschema.

Fig. 80. Dreileiter-Zähler. Fig. 81. Fünfleiter-Zähler.

Zählern dieses Systemes kommt der Vorzug zu, keine permanenten Magnete zu haben, von der Reibung unabhängig zu sein und dem Einfluss der Temperatur nicht merklich zu unterliegen.

In diesen Zählern sind nach obigem zwei gleiche stromempfindliche Pendel vorhanden. Da die Rollen an den Pendeln gleichartig in den Nebenschluss geschaltet sind, astasieren (I. B., S. 47) sie den Apparat gegen äußere Einflüsse. Eine äußere Kraft wirkt auf die beiden Pendel annähernd gleichmäßig ohne das Zählwerk zu beeinflussen.

59. Elektricitäts-Zähler nach Thomson.

Das Instrument, Fig. 82, besteht aus einem Elektromotor, der weder in den Feldspulen *N N* noch im Anker *A* Eisen enthält. Das Eisen ist

fortgelassen, um einerseits die Achse möglichst wenig zu belasten und andererseits fehlerhafte Angaben durch Hysteresis zu vermeiden. Auf einer vertikalen Achse befindet sich eine Trommel *A*. Über der Trommel sitzt der Kollektor *K*, der aus einzelnen Silberstäbchen zusammengesetzt ist. Auf den Silberstäbchen schleifen zwei Bürstenpaare; diese Bürsten bestehen aus Bronzefedern, die paarweise auf einem kleinen Messingzapfen aufgelöthet sind. Durch Drehung der Zapfen lassen sich die Bürsten mit verschiedenen Druck anlegen. Der Druck, mit dem sie auf dem Kollektor schleifen sollen, wird derart justiert, dass die Bürsten einerseits bei der größten Geschwindigkeit der Zählerachse, d. h. bei der größten Belastung des Apparates, nicht feuern, während sie andererseits bei geringer Belastung des Zählers keine großen Reibungsverluste erzeugen. An diesen Bürsten darf nicht gestellt werden, da die ganze Einregulierung im Aichraum vor dem Versandt geschieht. Die auf dem Kollektor aufliegenden freien Enden der Bürsten sind ebenfalls mit Silberstäbchen armiert, weil Silber das einzige Metall ist, dessen Oxyd eine Leitungsfähigkeit von annähernd demselben Werte besitzt, wie das reine Metall. Die Feldspulen, welche eine Wickelung von starkem Draht besitzen, sind in Serie mit dem Hauptstrom geschaltet, während die Trommelwickelung der Armatur aus dünnem Draht mit einem vorgeschalteten Widerstand ausgeführt ist und im Nebenschlusse liegt. Auf der Motorachse befindet sich eine Kupferscheibe S_1 S_2, welche bei der Drehung des Ankers mitgenommen wird und sich hierbei in einem konstanten magnetischen Felde von Stahlmagneten M_1 M_2 bewegt. Die senkrecht stehende Achse läuft in zwei Spitzen, deren untere auf einer federnd befestigten, gehärteten Stahlpfanne steht. In dem oberen Theil der Drehungsachse ist eine Schraube am Ende *S* eingeschnitten, welche in ein Räderwerk des Zifferblattes eingreift. Aus der Konstruktion des Apparates ergibt sich: Die im Motor erzeugte Energie ist proportional der Stromstärke *J*, der Spannung *E* und der erzeugten Geschwindigkeit *v*. Die Energie des Motors wird verbraucht durch die

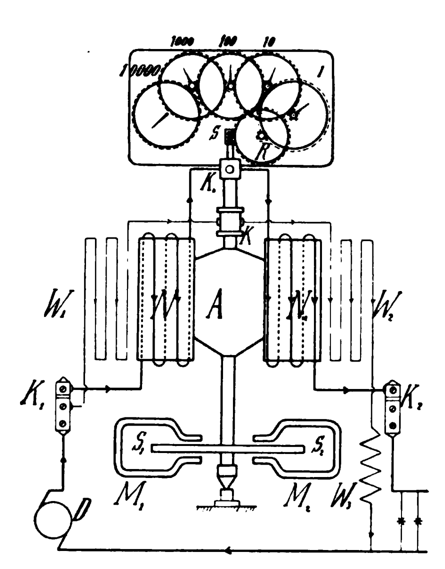


Fig. 82. Zweileiter-Zähler nach Thomson.

Bewegung der Kupferscheibe in einem magnetischen Felde; infolge der in der Scheibe auftretenden Foucaultströme muss bei einer Geschwindigkeit v die absorbierte Kraft proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit

$$E.J.v = K.v^2 \text{ sein oder}$$
$$E.J = K.v.$$

wo K eine Konstante.

Die Geschwindigheit erscheint daher direkt proportional der Anzahl der verbrauchten Volt-Ampère, so dass wir auf dem Zifferblatt direkt die verbrauchten Wattstunden ablesen können, solange die Konstante 1 ist; sonst muss der abgelesene Wert mit der angegebenen Konstanten multipliciert werden, um Wattstunden zu erhalten. Der Zähler, System Thomson, ist also ein Wattstundenzähler, welcher in seinen Angaben der Stromstärke und der Stromspannung Rechnung trägt und sowohl für Gleichstrom, als auch für Wechselstrom verwendet werden kann. Derselbe Apparat kann ohne Änderung in Leitungen für Gleichstrom oder in Leitungen für Wechselstrom eingeschaltet werden; es sind thatsächlich in der Praxis von diesen Zählern, die bis jetzt im Betrieb sind, etwa die Hälfte in

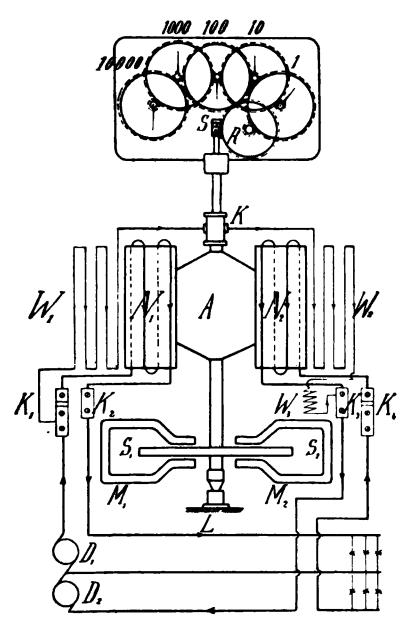


Fig. 83. Dreileiter-Zähler nach Thomson.

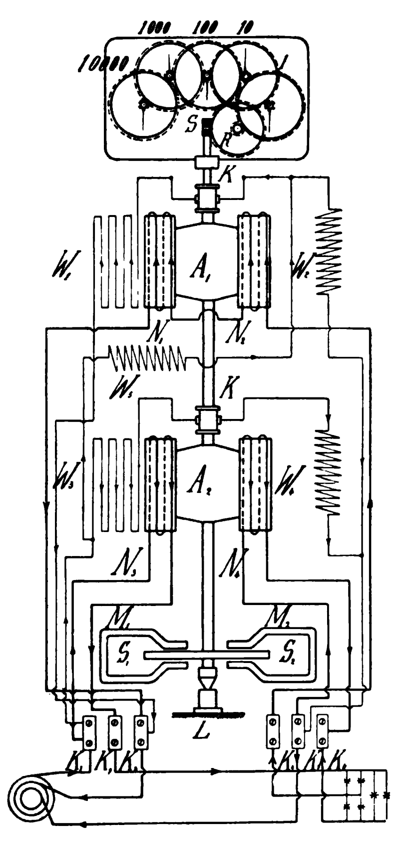


Fig. 84. Drehstromzähler nach Thomson.

Leitungen mit Gleichstrom, die andere Hälfte in Leitungen mit Wechselstrom in Verwendung. Der Thomson-Zähler besitzt den großen Vorzug, dass seine Angaben bei Wechselstrom unabhängig sind von der Anzahl der Polwechsel. Die Aichung des Apparates mit Normalinstrumenten geschieht in einfacher Weise durch die Lagenänderung der Stahlmagnete gegen die Kupferscheibe. Infolge der exakten Ausführung des ganzen Instrumentes geht der Apparat mit wenig Reibung; da aber bei geringer Belastung durch die, wenn auch geringe Reibung, in den Spitzen und an den Bürsten die Genauigkeit beeinträchtigt würde, so ist dieselbe in einfacher Weise kompensiert. Zu diesem Zwecke sind die Feldspulen mit einer dünnen Compoundwickelung versehen, die in Serie mit der Armatur liegt und so abgeglichen ist, dass der Einfluss derselben auf die Drehbewegung der Reibung beim Angehen das Gleichgewicht hält.

Die Schaltskizze für Zwei-Leiter-Zähler Fig. 82 zeigt, dass der von der Stromquelle kommende Draht in die links befindliche Klemme des Apparates geführt und auf der anderen Seite wieder herausgeführt wird. Vom zweiten Draht wird ein Nebenschluss nach dem Zähler abgezweigt. Fig. 83 versinnlicht das Schaltungsschema für das Dreileitersystem, Fig. 84 jenes für das Drehstromsystem. Sowie in Fig. 82 ist auch in diesen Figuren der Stromverlauf durch Pfeile ersichtlich gemacht. Die Bezeichnungen der Fig. 82 bis 84 stimmen überein. Die Ablesung am Zählwerke erfolgt gerade so, wie bei sämmtlichen Elektricitätszählern und Gasuhren (S. 67, Fig. 66 bis 68).

60. Weitere Elektricitätszähler: Ganz & Co. (Bláthy), F. Uppenborn, J. Baumann u. s. w. Der Zähler nach Aubert besteht aus einer Uhr, welche durch den Strom in Thätigkeit gesetzt wird. Dieser Zähler zählt die Dauer des Stromverbrauches.

61. Genauigkeit der Messinstrumente.

Die Angaben sämmtlicher Messinstrumente sind von Zeit zu Zeit auf ihre Genauigkeit zu prüfen.

VI. Kapitel.

Messmethoden.

I. Widerstandsmessung.

A. Widerstandsmessung fester Leiter.

62. Methode der Vertauschung (Substitution).

In den Stromkreis einer Stromquelle schaltet man den zu messenden Widerstand x und ein Galvanometer ein. Das letztere wird einen

gewissen Ausschlag geben. Nun bringt man an die Stelle des Widerstandes x einen bekannten Widerstand R, welcher denselben Ausschlag des Galvanometers bewirkt. Dann ist $x = R$.

63. Differential-Galvanometer. Diese Methode zeigt eine große Empfindlichkeit und ist unabhängig von der Beständigkeit der Elemente. Zwischen zwei genau gleichen Multiplikator-Rollen (gleiche Windungszahl, gleiche Widerstände) befindet sich ein astatisches Nadelpaar.

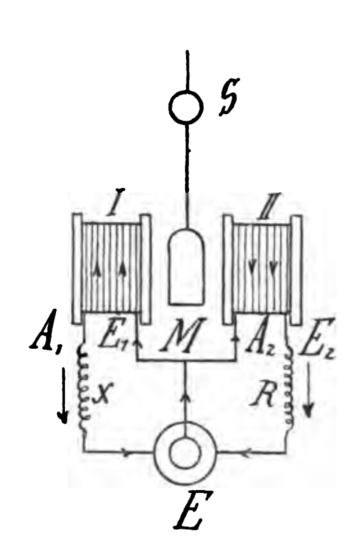


Fig. 85. Differentialgalvanometer. Messung großer Widerstände.

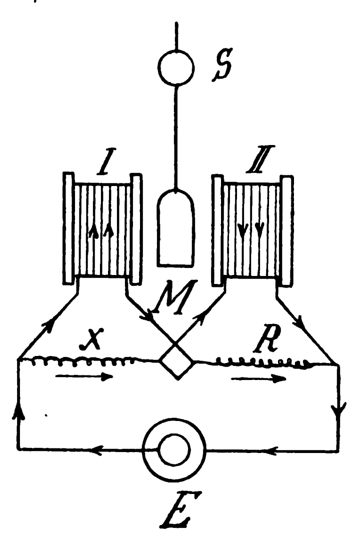


Fig. 86. Differentialgalvanometer. Messung kleiner Widerstände.

a) Messung großer Widerstände (E. Becquerel, W. Weber). Die zwei zu vergleichenden Widerstände x und R werden einander dann gleich sein, wenn sie nebeneinander in dieselbe Stromquelle eingeschaltet, den Strom in gleiche Theile theilen. Beide Spulen müssen auf die Nadel dieselbe Wirkung ausüben. Die Widerstände beider Hälften müssen gleich sein. Die Methode hat so wie die der Vertauschung den Nachtheil, dass dem zu messenden gleich große Widerstände vorhanden sein müssen. $x = R$.

b) Messung der Widerstände unter 1 Ohm (Heaviside & Tait). Haben die Galvanometerwindungen große Widerstände, dann ist diese Methode von den Übergangs-Widerständen beinahe ganz unabhängig. Man schaltet die beiden zu vergleichenden Widerstände und die Batterie hintereinander und legt die hintereinander geschalteten Galvanometer-

windungen an die Enden der beiden Widerstände an. Sehr geeignet sind die Galvanometer nach G. Wiedemann mit verschiebbaren Rollen. Friedrich Kohlrausch hat durch seine Methode mit „übergreifendem Nebenschluss“ die Messung kleiner Widerstände von Justierungsfehlern und Übergangs-Widerständen ganz unabhängig gemacht.

64. Brückenmethode (Wheastone). Nach der Brückenmethode (I. B., §. 45, S. 36) sind gebaut: Universalgalvanometer nach Siemens & Halske, Universalwiderstandskasten nach Siemens & Halske, Brückenapparat nach Elliot Brothers in London, Messbrücke der Firma Carpentier, Rollenbrücke nach Hartmann & Braun, Drahtbrücke nach Kirchhoff, Drahtbrücke zur Bestimmung der Differenz zweier Widerstände nach Carey Foster, Telephonbrücke nach Siemens & Halske und Friedr. Kohlrausch (Hartmann & Braun).

Für sehr genaue Messungen finden Verwendung: Universalbrücke (Universalkompensator) nach von Beetz, große Messbrücke nach Siemens & Halske, Brücke nach G. Wiedemann.

65. Thomson-Brücke nach Thomson-Varley (Elliot Brothers & Co., Clark, Muirhead & Co. in London), Doppelbrücke nach Siemens & Halske (S. 25). Bei dieser Brücke ergeben unvollkommene Kontakte unrichtige Resultate. Von den guten Kontakten unabhängig ist die Abänderung des Thomson'schen Verfahrens durch Mathiessen & Hockin.

66. Die Methode des direkten Ausschlages oder die Widerstandsmessung durch Strommessung, verwendet man für die Bestimmung von Widerständen über 10^7 Ohm, z. B. zur Isolationsmessung in der Kabelfabrikation. Man misst zunächst mit einem empfindlichen Galvanometer den Ausschlag der Mess-Batterie (100 Daniell- oder eine Accumulatoren-Batterie), wenn man in deren Stromkreis etwa 10^6 Ohm oder allgemein w Ohm eingeschaltet hat; es sei der Ausschlag bezw. die Stromstärke s. Jetzt schaltet man den zu messenden Widerstand x ein; es sei die Stromstärke s_1. Wenn n die Anzahl der Elemente, e die elektromotorische Kraft eines Elementes, u den inneren Widerstand eines Elementes bezeichnen, so ist die Stromstärke $s = \frac{ne}{nu + w}$, wobei der Widerstand der Schaltungsdrähte und des Galvanometers unberücksichtigt bleiben. Schaltet man jetzt den Widerstand x anstatt der Widerstände w in den Stromkreis ein und nimmt, falls x sehr groß ist, eine größere Anzahl von Elementen n_1, so ist die Stromstärke

$$s_1 = \frac{n'e}{n'u + x} \text{ und } \frac{s}{s_1} = \frac{\frac{ne}{nu + w}}{\frac{n_1 e}{n_1 u + x}} = \frac{ne}{nu + w} \cdot \frac{n_1 u + x}{n_1 e} = \frac{n}{n_1} \cdot \frac{n'u + x}{nu + w}$$

$$\text{oder } \frac{n_1 s}{n s_1} = \frac{n_1 u + x}{nu + n}.$$

Berücksichtigen wir nochmals, dass x über 10^7 Ohm, so können wir nu im Vergleiche mit x (10^7 Ohm) und nu im Vergleiche mit w (10^6 Ohm) vernachlässigen. $\frac{n_1 s}{n s_1} = \frac{x}{w}$ oder $x = w \cdot \frac{n_1}{n} \cdot \frac{s}{s_1}$ oder, wenn man stets die gleiche Elementenzahl verwendet hat, $x = w \cdot \frac{s}{s_1}$. Sind die zu vergleichenden Widerstände voneinander sehr verschieden, so verwendet man sehr viele Elemente und zu dem Galvanometer einen Nebenschluss, um bei der Messung mit den kleineren Widerständen die Empfindlichkeit des Instrumentes zu verkleinern.

67. Indirekte Messung des Widerstandes. Mit Benützung des Ohm'schen Gesetzes erhält man den Widerstand aus einer Spannungs- und Strommessung $W = \frac{E}{J}$.

B. Widerstand flüssiger Leiter.

68. Vertauschung nach Horsford. In einer Glaswanne befinden sich zwei Elektroden (Platin u. s. w.) in verdünnter Schwefelsäure. Schaltet man diese Elektroden in den Stromkreis einer Batterie und eines Regulierwiderstandes, so erhält man eine gewisse Stromstärke J. Rückt man jetzt die Elektroden näher, so wird ein Flüssigkeitsprisma von dem Querschnitte Q, der Länge L und dem Widerstande R ausgeschaltet und wir müssen deshalb an den Regulierwiderstand den Widerstand R einschalten, um die Stromstärke J zu erhalten. Somit gilt die Beziehung $R = x = \frac{c \cdot L}{Q}$.

69. Brückenmethode mittelst Wechselstrom. Wechselstrom vermeidet die Polarisation (49). Man verwendet in der Brücke entweder ein Telephon oder ein Elektrodynamometer. Bei letzterem schaltet man bloß die bewegliche Rolle in die Brücke, die feste Rolle dagegen muss die Wechselstromquelle enthalten. Weitere Methoden: Palzow, Ayrton & Perry, Kohlrausch, Nippold u. s. w.

70. Widerstände von Elementen. Diese Widerstandsmessungen ergeben nur angenäherte Werte. Den inneren Widerstand der Elemente

bestimmen die Abmessungen, die Füllung, die Art der Elektroden, die Temperatur, die chemischen Vorgänge und die Stromstärke.

Bei der Messung des Widerstandes einer Batterie nach der Brückenmethode theilt man die Batterie in zwei gleiche Hälften und schaltet sie gegeneinander. Methoden: Discher, Kohlrausch, Mance, Lutterroth, v. Waltenhofen und v. Beetz, Frölich, Uppenborn, Munro, Hospitalier, Boccali (Hockin und Mathiessen), Siemens u. s. w.

II. Bestimmungen elektromotorischer Kräfte.

71. Methoden. Man unterscheidet: *A)* Dynamische (elektrokinematische) Methode; sie beruht auf Strom- und Widerstandsmessungen. *B)* Statische (elektrometrische) Methode, welche auf elektrostatischen Kraftwirkungen beruht. Die Messungen finden mit Elektrometern und Kondensatoren statt.

A. Dynamische Methoden.

72. Ohm'sche Methode. Sind die beiden elektrometrischen Kräfte e_n (Normalelement) und e_x (zu vergleichendes Element) miteinander zu vergleichen, so macht man zwei Versuche:

a) Man schaltet Galvanometer, e_n und einen Rheostat hintereinander. Der Widerstand des Rheostates, des Galvanometers und der innere Widerstand des Elementes seien zusammen gleich w. Der Ablenkungswinkel sei α, die Stromstärke i. Dann ist $e_n = i w$.

b) Man schaltet Galvanometer, e_x und den Rheostat hintereinander. w_1 = Widerstand des Rheostates + Widerstand des Galvanometers + + innerer Widerstand des Elementes. Der Ablenkungswinkel sei α_1, die Stromstärke i_1. Dann ist $e_x = i_1 w_1$.

Demnach verhalten sich die elektromotorischen Kräfte der zu vergleichenden Elemente

$$\frac{e_n}{e_x} = \frac{i\, w}{i_1\, w_1} = \frac{w \tang \alpha}{w_1 \tang \alpha_1}.$$

α) Ohm'sche Art: Man wählt w und w_1 so, dass die Ablenkung der Nadel bei beiden Versuchen gleich bleibt. Dann muss $\frac{e_n}{e_x} = \frac{w}{w_1}$ oder es ist $e_x = e_n \frac{w_1}{w}$.

β) Fechner'sche Art. Nimmt man w gleich w_1 an, dann ist

$$\frac{e_n}{e_x} = \frac{tang\,\alpha}{tang\,\alpha_1} \text{ und } e_x = e_n \frac{tang\,\alpha_1}{tang\,\alpha}.$$

In beiden Fällen (α und β) wählt man w und w_1 so groß, dass man die Widerstände des Galvanometers und des Elementes dagegen vernachlässigen kann.

73. Wheaston'sche Methode. Stellt man, so wie bei der Ohm'schen Methode, $\alpha = \alpha_1$ ein, und vermehrt w um w_2, sowie w_1 um w_3, wobei in beiden Fällen die Stromstärke denselben Wert erreicht, dann muss $e_x = e_n \frac{w_2}{w_3}$.

74. Kompensations-Methode. Die ersten 2 Methoden verlangen Elemente, deren *E. M. K.* von der Stromstärke unabhängig sind. Diese Bedingungen lassen sich nie vollkommen erreichen. Die früheren Messmethoden sind deshalb insbesondere zur Vergleichung inkonstanter Elemente unbrauchbar. Zu den neuesten Messungen der konstanten und inkonstanten Elemente dient die Kompensations-Methode, bei welcher das zu vergleichende Element bei der Messung stromlos gemacht und nur ganz kurze Zeit geschlossen wird.

1. Methode nach Poggendorff. Das Schaltungsschema ist aus zwei Stromkreisen zusammengesetzt. Der eine Stromkreis besteht aus dem Galvanoskop G, den zu vergleichenden Elementen e_x und e_y bei E_1 und dem Widerstande W. Der zweite Stromkreis enthält das Normalelement e_n bei E_2, das Galvanometer (Tangenbussole etc.) T und den Widerstand W. Dieser Widerstand befindet sich somit in beiden Stromkreisen. Man vergrößert den Widerstand W solange, bis G stromlos ist. Dieser vergrößerte Widerstand sei W_1. Dann zeigt T die Stromstärke J_1 an. Diesen Vorgang wiederholt man mit dem zweiten zu vergleichenden Elemente e_y. Beim Widerstand W_2 wird jetzt G stromlos, T zeigt J_2 an. Dann gilt die Proportion:

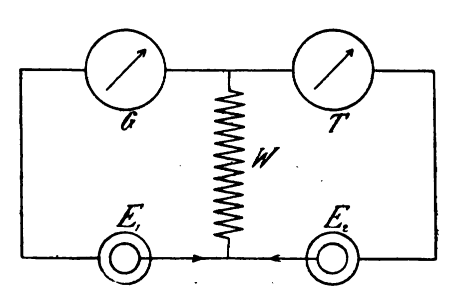


Fig. 87. Kompensations-Methode nach Poggendorff.

$$e_x : e_y = J_1\, W_1 : J_2\, W_2$$

2. **Methode mittelst des Universalgalvanometers nach Siemens & Halske** (150, S. 136). Die Schaltung ist dieselbe wie beim Potentiometer nach Clark.

$$E_x = \frac{150 \pm \alpha}{150 \mp \alpha} E_y.$$

3. **Neuer Kompensationsapparat der Firma Siemens & Halske.**[1])

In Fig. 88 sind die Stromläufe des Apparates schematisch dargestellt. Man muss hierbei zwei Stromwege vollständig gesondert be-

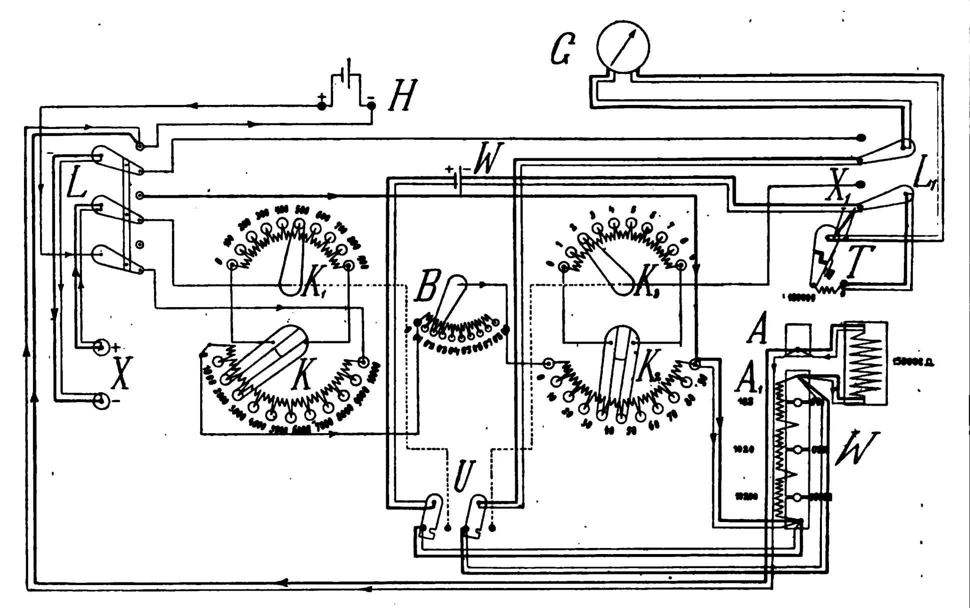


Fig. 88. Schaltungsschema des Kompensationsapparates nach Siemens & Halske.

trachten, welche durch starke, bezw. schwache Linien angedeutet sind; in den Fällen, in welchen die beiden Stromläufe gemeinsame Leitungen haben, sind die Linien doppelt gezeichnet, obschon in Wirklichkeit nur einfache Leitungen vorhanden sind. Der stark gezeichnete Stromkreis wird benutzt, wenn Spannungen über 1, bezw. 10 Volt zu messen sind; der schwach gezeichnete, wenn Spannungen unter 1, bezw. 10 Volt gemessen werden sollen. Die zu messende Spannung wird in beiden Fällen an die beiden mit X (+ —) bezeichneten Klemmen angelegt und durch einfaches Umlegen des dreipoligen Umschalters L der betreffende Stromlauf eingeschaltet.

[1]) Vergl. A. Raps, Elektrotechnische Zeitschrift 1895, S. 507.

Betrachten wir zunächst den stark gezeichneten Stromlauf, welcher der Schaltestellung „hohe Spannung“ entspricht.

Der Strom tritt bei $+X$ ein, geht durch den mittleren Arm des Umschalters L, durch die Widerstände, bezw. 10200, 1020, 102 Ω (durch einen Widerstandskasten, welcher bis 150000 Ω einzuschalten gestattet), dann durch den obersten Arm des Umschalters L zur Klemme $-X$. Parallel zu einem der durch Stöpsel auszuwählenden Widerstände von 10200, bezw. 1020, bezw. 102 Ω liegt ein Kreis, welcher das Normalelement W, das Galvanometer G und einen Taster T enthält, welcher diesen Kreis zu schließen gestattet (Hebel L_1 liegt auf N, wie Fig. 88 zeigt). Man kann nun den Strom im Hauptstromkreis auf 0·0001, bezw. 0·001, bezw. 0·01 A bringen, indem man den Stöpsel 10200, bezw. 1020, bezw. 102 zieht und den Widerstand des zwischen den Klemmen $A A_1$ eingeschalteten Widerstandskastens solange ändert, bis das Galvanometer G beim Drücken des Tasters T keinen Strom anzeigt. Es ist dann die an den Enden des einen der drei Widerstände w herrschende Spannung gleich der des Normalelementes e also $iw = e$.

Nun ist e nahezu $= 1·020$ int. Volt.

Wenn wir also $w = 10200, 1020, 102\ \Omega$ machen, ist $i = 0·0001$, 0·001, 0·01 A.

Da die *E. M. K.* des Cadmium-Elementes praktisch von der Temperatur unabhängig ist, können die Widerstände feste sein. Da aber die zu bestimmende Spannung $E = iw$ ist, entsprechen den drei Stöpseln die Empfindlichkeiten

$$E = 0·0001,\ 0·001,\ 0·01\ w,$$

wobei der Widerstand des betreffenden der 3 Stöpsellöcher selbstverständlich mitzuzählen ist.

Auf diese Weise können Messungen von 1·020 V. bis 1500 V. ausgeführt werden und zwar ist die Genauigkeit dieser Messungen so groß, wie die, mit welcher die *E. M. K.* des Normalelementes bestimmt ist.

Will man elektromotorische Kräfte messen, welche unter 1 V. (bis zu 0·00001 V.) liegen, so wird der Umschalter L auf „Niedrige Spannung“ geworfen (Stellung Fig. 88). Hierdurch wird die Hilfsbatterie H eingeschaltet und wir müssen nun den in der Fig. 88 dünn eingezeichneten Stromlauf verfolgen.

Von dem Pole der Hilfsbatterie $+H$ geht der Strom durch den unteren Hebel des Umschalters L durch die 1000 Ω Widerstände bei K_1, dann durch die 0·1 Ω Widerstände bei B, durch die 10 Ω Widerstände bei K_2. Er passiert dann die Widerstände zum Einstellen der Empfindlichkeit 10200, bezw. 1020, bezw. 102 Ω, den Regulierwiderstand 150000Ω und gelangt zum — Pol der Hilfsbatterie H.

Ganz, wie eben beschrieben, kann nun die Stromstärke in diesem Hilfsstromkreise durch Kompensation mit dem Normalelement (Hebel L_1 liegt auf N, wie Fig. 88 zeigt) auf 0·0001, bezw. 0·001, bezw. 0·01 A gebracht werden. An diesem Hilfsstromkreis wird nun die zu suchende Spannung angelegt durch Umschalten der Kurbel L_1 auf X und Stromlosmachung des Galvanometerkreises G, indem derselbe durch Einstellen der Kurbeln K, K_1, K_2, K_3, B an einen Widerstand w des Hilfsstromkreises angelegt wird. Wir haben dann wieder, wenn i die Stromstärke im Hilfsstromkreise bedeutet, $E = iw$, also

$$E = 0{\cdot}0001,\ 0{\cdot}001,\ 0{\cdot}01\ w.$$

Die Schaltung der Kurbeln ist nun die folgende: Die Kurbeln K und K_2 besitzen je zwei Schleiffedern, mittels deren zwischen je zwei Knöpfe der K, bezw. K_2 Reihe noch eine Reihe von Widerständen der K_1, bezw. K_3 Reihe parallel geschaltet werden kann. Von diesen letzteren nehmen dann die Kurbeln K_1, bezw. K_3 ein Potential an, welches zwischen dem der Tausender- und Zehner-Reihe liegt.

Bezeichnen wir die zwischen zwei Knöpfen der K Reihe herrschende Spannung mit 1000, so herrscht zwischen zwei Knöpfen der K_1 Reihe nur eine Spannung von 100. Allerdings sind die Stellen, in welchen die beiden Federn der Kurbeln KK_2 auf den Knöpfen aufliegen, nicht stromlos, sodass der Übergangswiderstand in Betracht kommt. Dieser kann das Resultat aber in den von uns gesteckten Grenzen (0·1 %) nicht beeinflussen, wie eine einfache Überlegung zeigt, umsoweniger, als auf die Ausführung der Kontakte und Schleiffedern großes Gewicht gelegt ist, wie nachher noch näher auseinandergesetzt werden soll.

Der Übergangswiderstand kann übrigens, wie schon eben erwähnt wurde, durch Parallelschalten von genügend hohen Widerständen beliebig klein gemacht werden.

Außerdem sind die Kurbeln durch angelöthete biegsame Schnüre miteinander verbunden, sodass die Übergangswiderstände vollständig unschädlich sind.

Der Apparat hat übrigens praktisch dieselbe Empfindlichkeit wie die Apparate mit nur 2 Kurbeln.

Ebenso verhält es sich mit den beiden anderen Kurbeln. Zwischen je 2 Knöpfen der K_2 Reihe sind 10 Ω eingeschaltet, es herrscht also eine Spannung von 10 zwischen je zweien. Parallel zu einem dieser Widerstände liegt die Reihe K_3, welche 9mal 1 Ω enthält. Es herrscht also dort analog den Betrachtungen bei der K und K_1 Reihe zwischen je zwei Knöpfen nur die Spannung 1.

Eine ähnliche Schaltung mit einem Kurbelpaar ist übrigens zu anderen Zwecken, auch bei der bekannten Thomson-Varley'schen Brücke angewandt. Auf diese Weise ist es möglich, mit Hilfe von einer verhältnismäßig geringen Anzahl von Widerständen eine Bestimmung der Spannung bis auf die 4. Stelle zu machen, ohne dass man eine Umstöpselung vorzunehmen braucht. Die 5. Stelle wird durch Verstellen der Kurbel B erhalten. Hierdurch wird allerdings der Gesammtwiderstand des Hilfsstromkreises geändert und hiermit auch dessen Stromstärke.

Diese Änderung geht aber in das Resultat in maximo nur mit einem Fehler von 0·1% hinein. Man kann diesen übrigens dadurch auch noch ganz vermeiden, dass man den Widerstand bei AA_1 entsprechend ändert. Als Hilfsbatterie wurde bisher mit einer größeren Type von Hellesen-Trockenelementen gearbeitet, welche sich zu diesem Zwecke sehr gut bewährt haben.

Man kann bei diesem Apparate Trockenelemente umsomehr verwenden, als sich die Richtigkeit der Stromstärke im Hilfsstromkreise jeden Augenblick dadurch kontrollieren lässt, dass man den Hebel L_1 von X nach N wirft und eventuelle kleine Fehler durch Widerstandsänderung bei AA_1 verbessert.

Der Apparat lässt sich auch durch eine einfache Vorrichtung für jedes andere Normalelement gebrauchen, auch für solche, deren *E. M. K.* mit der Temperatur variiert. Es ist dann nur nöthig, dieses Element an die Stelle von w hinzubringen, und den doppelpoligen Umschalter U nach rechts umzuschlagen. Dann liegt das Normalelement nicht mehr an den festen Empfindlichkeitswiderständen, sondern es liegt an den Kurbeln K_1 und K_3, sodass durch Einstellung der Kurbeln wie bei dem Apparate nach Feußner der Hilfsstromkreis durch jede beliebige *E. M. K.* auf eine bestimmte Stromstärke gebracht werden kann.

Die Umschalter liegen an den Seiten des Kastens bequem zur Hand, ohne Platz wegzunehmen. Die Widerstände im Apparate sind aus Manganin hergestellt.

Der Widerstand von 150000 Ω wird an die Laschen AA_1 angelegt und kann hierzu ein gewöhnlicher Widerstandskasten Verwendung finden, der im Laboratorium vorhanden ist. Der Taster T gestattet, den Galvanometerkreis entweder nur für einen Augenblick oder dauernd zu schließen und das Galvanometer kurz oder mit 100000 Ω als Ballastwiderstand einzuschalten, um dem Normalelement beim Messen unbekannter Spannungen nicht zu viel Strom zu entnehmen. Durch einfachen Druck auf einen Knopf wird eine Kontaktfeder heruntergedrückt, indem ein Stift in seinen Führungen abwärts gleitet; nach

dem Loslassen federt er wieder hoch. Sobald man aber den Knopf etwas nach vorn drückt, sodass seine schräge Fläche horizontal zu liegen kommt, bleibt die Feder dauernd herabgedrückt.

Durch Lösung der gemeinsamen Befestigungsschraube kann das ganze System der Doppelkurbeln herausgezogen werden und ist nun der Reinigung leicht zugänglich. Außerdem sind noch verlöthete, biegsame Schnüre vorhanden, welche zwischen den Schleifflächen der Kurbeln vollkommen einwandfreie Verbindungen herstellen. Selbstverständlich lassen sich mit dem Apparate auch Stromstärken in Ampère messen, wenn man den zu messenden Strom durch einen änderungsfreien Widerstand leitet, die Spannung an dessen Enden bestimmt und die Angaben des Apparates in Volt durch den Widerstand in Ohm theilt.

Die einfache Gebrauchsanweisung für den Apparat würde lauten, wie folgt:

1. Spannungen über 1 Volt. Umschalter L auf „Hohe Spannung". Die zu messende Spannung an X angelegt, die richtige Empfindlichkeit $E = 0{\cdot}0001$, bezw. 0·001, bezw. 0·01 gezogen, Umschalter L_1 auf N, Taster (auf 100000 Ω dann auf 0) gedrückt und solange an dem Widerstand von 150000 Ω geändert, bis das Galvanometer keinen Strom anzeigt. Der im Kasten gezogene Widerstand + dem, welcher unter der gewählten Empfindlichkeit steht (10200, bezw. 1020, bezw. 102), getheilt durch die Dekade der Empfindlichkeit ist die gesuchte Spannung.

2. Spannungen unter 1 Volt. (An H liegen jetzt 4, bezw. 12 V.)

Hebel L auf „Niedere Spannung", Empfindlichkeit gezogen, Hebel L_1 auf N, Taster gedrückt, in dem Widerstandskasten bei $A\,A_1$ solange geändert, bis Galvanometer ruhig.

Dann L_1 auf X, an den Kurbeln $K\ K_1\ K_2\ K_3\ B$ solange gedreht, bis der Galvanometerkreis wieder stromlos ist. Dann ergeben die an den Kurbeln stehenden Zahlen, dividiert durch die Empfindlichkeit, die gesuchte Spannung.

4. Weitere Kompensations-Methoden: E. Du Bois Reymond, Bosscha, v. Waltenhofen, K. Feußner (Physikalisch Techn. Reichsanstalt), v. Beetz (Universalkompensator), Clark (Potentiometer) u. s. w.

Eine neue sehr einfache Konstruktion eines Kompensationsapparates ist der Kompensator für Spannungs- und Strommessungen nach Rudolf Franke.[1])

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1897, S. 318 bis 320.

B. Statische Methoden.

75. Methode mit dem Quadrant-Elektrometer (W. Thomson, G. Kirchhoff, Mascart). Die Nadel (bewegl. Theil, Biscuit) wird durch eine Batterie auf ein bestimmtes Potential gebracht (31). Dann legt man zwei gegenüberliegende Sektoren an den einen Pol des Gleichstromes, die beiden andern gegenüberliegenden Sektoren an den zweiten Pol des Gleichstromes. Die Nadel wird sich gegen dasjenige Quadrantenpaar bewegen, welches das niedrigere Potential besitzt. Diese Ablenkung sei α, die Ablenkung mit einem Normalelement von der elektromotorischen Kraft E_n sei α_1, dann ist:

$$E_x = E_n \frac{\alpha}{\alpha_1}.$$

76. Methode mit dem Kondensator. Man ladet einen Glimmer-Kondensator zunächst mit dem zu untersuchenden Element, dann mit einem Normalelement. Es ist wieder $E_x = E_n \frac{\alpha}{\alpha_1}$, worin α und α_1 die Galvanometerausschläge bezeichnen.

III. Messung der Stromstärken.

77. Allgemeines. Je nachdem nur ein Theil oder der gesammte zu messende Strom das Galvanometer durchfließt, nennt man die Messung direkt oder indirekt.

Schalten wir einer Leitung mit dem Widerstande W einen Widerstand W_1 mit einem Galvanometer parallel, so ist der Gesammtstrom $J = i \frac{W + W_1 + G}{W}$ (I. B., S. 35) worin i Galvanometerstrom.

78. Methode des gleichen Ausschlages. Wenn man bei der Änderung des J das i durch Änderung des Widerstandes W_1 konstant erhält, so sind die J den Widerstandswerten $W + W_1 + G$ proportional.

79. Strommessung durch Spannungsmessung. Denkt man sich die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten A und B (Widerstand W) des Hauptstromkreises bestimmt (Spannungsmessungen, 26), so ist $J\,W = V$ diese Spannungsdifferenz. Dabei denken wir uns im Nebenschlusse zu $A\,B$ das Galvanometer G sammt Rheostatwiderstand W_1. Dann ist der Widerstand des parallel gehaltenen Systems $w = \frac{W(W_1 + G)}{W + W_1 + G}$

oder weil Jw gleich V, erhält man mit V multipliciert, $J = V\frac{W + W_1 + G}{W(W_1 + G)}$ oder, wenn W im Verhältnisse zu $W_1 + G$ sehr klein ist, $J = \frac{V(W_1 + G)}{W(W_1 + G)}$ und $J = \frac{V}{W}$. Bei sehr starken Strömen wird diese Messung angewendet und zwar zumeist mit dem Torsionsgalvanometer nach Siemens & Halske (26) und mit dem Weston-Voltmeter.

80. Absolute Messung (1) mit der Tangentenbussole.

81. Elektrochemische Strommessung mit dem Voltmeter. Methoden: F. und W. Kohlrausch, Köpsel, Vanni.

82. Weitere Methoden: Elektromagnetische Strommessung: Himstedt, Obach, F. und W. Kohlrausch, W. Weber (Bifilargalvanometer), W. Thomson; H. von Helmholtz (elektromagnetische Wage); elektrodynamische Strommessung: Rayleigh, O. Frölich, Heydweiller, Mascart, Pellat, elektrokalorische Strommessung: Dieterici, Joule, H. F. Weber, Jahn, Fletscher, Paalzow, Rubens, elektrooptische Strommessung: Rayleigh, Köpsel, Bichat, Verdet, Gordon, H. Becquerel; Messung veränderlicher Ströme: Dorn, Gauß und W. Weber, G. Wiedemann, W. Weber und Zöllner, Guillemin, Nichols, Franke, Joubert, Frölich, Colley, H. v. Helmholtz, Klemencic, Hertz, Lecher, Blondlot, Bjerknes.

IV. Bestimmung von Kapacitäten.

83. Versuchsweise Kapacitätsbestimmung. Zuleitung und Rückstandsbildung erschweren die Kapacitätsbestimmung. Kurze Ladungen und Entladungen mit rasch wechselnden Strömen beseitigen dieses Hindernis beinahe gänzlich. Die Kapacitäten der Zuleitungen sind insbesondere bei kleinen Kapacitäten zu berücksichtigen.

84. Vergleichung zweier Kapacitäten durch einfachen Ausschlag. Man schaltet eine Batterie, ein ballistisches Galvanometer, einen Taster und den zu messenden Kondensator hintereinander. Die Ablenkung sei α. Nun macht man denselben Versuch mit einem Normal-Kondensator und erhält z. B. bei 1 Mf den Ausschlag α_1. Dann ist die Kapacität des zu messenden Kondensators:

$$K = \frac{\alpha}{\alpha_1}.$$

85. Methode nach Sauty, Fig. 89. Die Schaltung ist dieselbe wie bei der Brückenmethode (I. B., S. 36). Anstatt des zu messenden Widerstandes ist der zu vergleichende Kondensator X, anstatt der Vergleichswiderstände der Normal-Kondensator K eingeschaltet. Drückt man den Taster T nieder, so gibt das Galvanometer einen Ausschlag. Stellt man die Widerstände W und W_2, welche induktionsfrei sind, so ein, dass das Galvanometer keinen Ausschlag gibt, dann ist $x = \frac{W}{W_2} \cdot K$. Anstatt der Erdleitungen E E kann auch eine Verbindungsleitung angewendet werden. Die letzte Gleichung gilt für die Schaltung nach Gott, bei welcher Batterie und Galvanometer vertauscht sind. Dieselbe Methode mit dem Sekohmmeter (Doppel-Kommutator) nach Ayrton & Perry, Fig. 90. Zwei Kommutatoren (Stromwender) S_1 und S_2 sitzen auf derselben Welle. Der Stromwender S_1 besorgt die Stromwechsel für das Galvanometer, der Stromwender S_2 für die Batterie. Die beiden Stromwender lassen sich gegeneinander verstellen, so zwar, dass die Stromwechsel des Galvanometers und der Batterie entweder gleichzeitig oder zu verschiedenen Zeiten erfolgen. Die Umdrehungszahl wird durch Zahnrad- oder Schnurlaufübersetzung bis auf 100 erhalten.

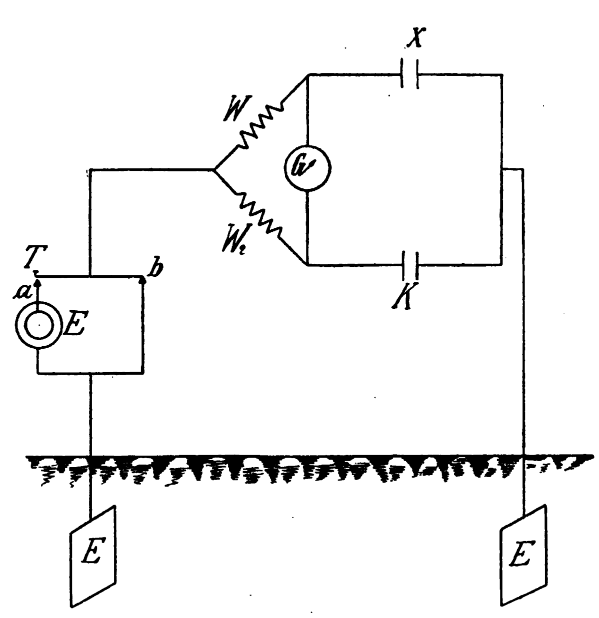


Fig. 89. Kapacitäts-Vergleichung nach Sauty.

86. Weitere Methoden: Absolute Messung, Kompensation, Jenkin und Siemens, Klemencic, Himstedt, Freyberg, Heydweiller, Maxwell, M. Wien, Cohn, W. Thomson, Glazebrook, Winkelmann, Faraday, Boltzmann, Thomson, Gibson, Barklay, Schiller, J. J. Thomson.

87. Zahlen-Angaben: Das atlantische Kabel hat für 1 *km*

eine Kapacität von 0·18 bis 0·2 *Mf*; das Erdkabel des Deutschen Reiches ungefähr 0·25 *Mf* per *km*. Ein Kupferdraht von 1 *m* Länge, 4·23 *mm* Durchmesser und 8 *mm* Entfernung von der Erde verhält sich wie ein Kondensator von 100 mm^2 Belegfläche, dessen dielektrische Substanz Glas von 1 *mm* Dicke ist. Ein Glimmer-Kondensator, dessen Blätter die Dicke von 2·5 *mm* haben, von der Kapa-

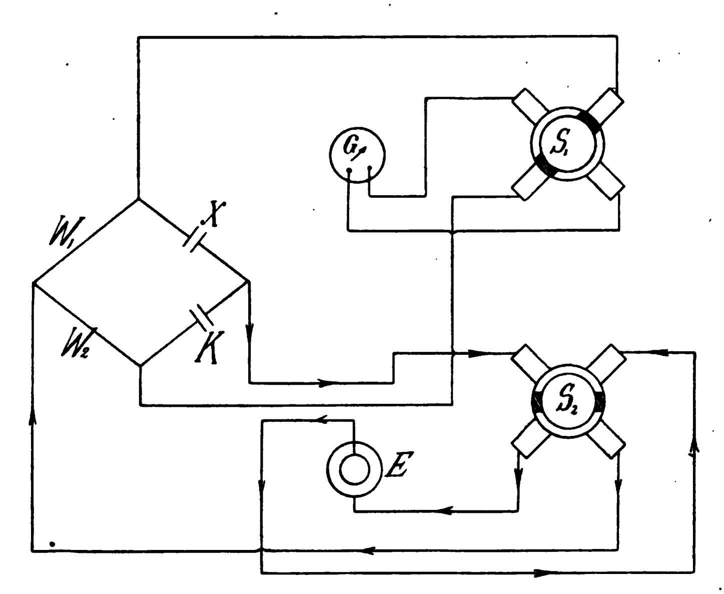


Fig. 90. Kapacitäts-Vergleichung mittelst des Sekohmmeters nach Ayrton & Perry.

cität 1 *Mf* hat eine Belegfläche von etwa 6 m^2. Hutin & Leblanc verwenden für Spannungen bis 100 Volt paraffiniertes Papier von 0·01 *mm* Dicke und ebenso starkes Staniol. Die Elektrodenoberfläche beträgt 14422 cm^2 für 1 *Mf*. Die Dielektricitäts-Konstante des Papieres hat den Wert 2·56. Ein Papier-Kondensator von 1 *Mf* besteht aus 37 Blatt Staniol 184×152 *mm*. Eine isoliert aufgehängte Kugel würde eine Ladung von 1 *Mf* aufnehmen, wenn sie einen Halbmesser von 9 *km* hätte. Die Kapacität der Erde ist etwa 700 *Mf*, diejenige der Sonne $\frac{1}{14}$ Farad. Nach der Kirchhoff'schen Formel beträgt die Kapacität eines Luftkondensators [1]) mit 2 kreisförmigen Platten von 20 *cm* Durchmesser und 1 *cm* Dicke,

---

[1]) Heydweiller, S. 214.

bei 0·1 *cm*	Plattenabstand,	0·000289	*Mf*,
„ 0·2 „	„	0·000149	„ ,
„ 0·5 „	„	0·000064	„ ,
„ 1·0 „	„	0·000035	„ .

Eine Leydnerflasche von 2700 cm^2 einseitiger Belegung, 23 *cm* Durchmesser, 33 *cm* Höhe der Belegung, 0·2 bis 0·3 *cm* Glasdicke hat eine Kapacität von etwa 0·004 bis 0·008 *Mf*.

V. Bestimmung von Dielektricitäts-Konstanten.

88. Bestimmung der Dielektricitäts-Konstanten durch Kapacitätsvergleichungen.

Diese Messungen werden sowie die Kapacitätsmessungen durch Leitung und Rückstandsbildung ungenau. Die Dielektricitätskonstante kann aus Kapacitätsvergleichungen erhalten werden. Man vergleicht die Kapacität eines Kondensators, wenn das Dielektrikum zunächst Luft (oder das Vakuum) und dann irgend ein Isolator ist. Das Verhältnis der Kapacitäten bei dem beliebigen Isolator zu der Kapacität bei Luft gibt die Dielektricitätskonstante.

VI. Bestimmung von Induktions-Koefficienten.

A. Selbstinduktion.

89. Berechnung aus dem scheinbaren Widerstand (I. B., S. 128).

$R = \sqrt{W^2 + \omega^2 L^2}$ oder $R^2 = W^2 + \omega^2 L^2$. Daher ist:

$$\omega^2 L^2 = R^2 - W^2 \text{ und}$$

$$L^2 = \frac{R^2 - W^2}{\omega^2}; \; L = \frac{1}{\omega} \sqrt{R^2 - W^2}$$

und weil $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (I. B., S. 118),

folgt: $L = \frac{T}{2\pi} \sqrt{R^2 - W^2}$.

90. Methode nach Clark Maxwell. In der Fig. 91 sei R ein Widerstand mit Selbstinduktion, W_1, W_2, W_3 induktionsfreie Widerstände, K ein Kondensator. Bei allen Messungen, bei welchen keine Induktionsströme vorkommen, genügt eine Abgleichung auf konstanten Strom. Diese Messung dagegen erfordert eine doppelte Abgleichung und zwar:

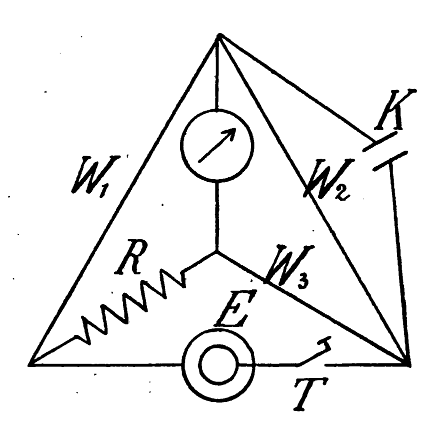


Fig. 91. Methode nach Maxwell.

a) Kein Ausschlag bei konstantem Strom (Abgleichung auf konstanten Strom).

b) Kein Ausschlag beim Schließen und Öffnen (Abgleichung auf Induktion).

$$L = K.R.W_2.$$

91. Vergleichung zweier Selbst-Induktions-Koefficienten mit dem Sekohmmeter nach Ayrton und Perry. Die Schaltung ist dieselbe wie in Fig. 90. Anstatt der Kapacitäten X und K werden die Selbstinduktionen X und L eingeschaltet, dann ist $\frac{X}{L} = \frac{A}{B}$.

B. Gegenseitige Induktion.

92. Methode nach Pirani (1887), Fig. 92. W_1 und W_2 bedeuten induktionsfreie Widerstände. M_1 und M_2 sind zwei Induktionsrollen, deren gegenseitiger Induktions-Koefficient ermittelt werden soll. K ist ein Kondensator. Zeigt das Galvanometer bei Schließung der Batterie keinen Ausschlag, dann ist $M = KW_1 W_2$. Weitere Methoden der Bestimmung von Induktions-Koefficienten: Rayleigh, Rimington, Joubert, Stefan, Graetz[1]) (Messung mit der Wheatstonschen Brücke), Fr. Kohlrausch, Puluj, M. Baumgardt, Steinmetz, Strecker, Herwig, Ledeboer, Dorn und Rasmussen, S. Thomson, M. Wien, Roiti, Niven, Anderson, Carey Foster u. s. w.

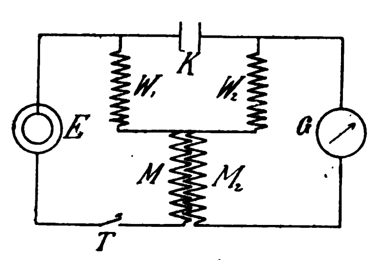


Fig. 92. Methode nach Pirany.

VII. Kapitel.

Wechselstrommessungen im Besonderen.

I. Messinstrumente.

93. Eintheilung. Die Messinstrumente für Wechselstrom kann man, sowie alle Messinstrumente überhaupt (34) nach den Wirkungen des Stromes (I. B., S. 12 und S. 38) eintheilen.

94. Physiologische Wirkungen (I. B., 24 und II. B., 35). Die Erschütterungen der Muskeln und Nerven durch den Wechselstrom sind bei den gebräuchlichen Polwechselzahlen viel stärker, als durch den

[1]) E. Z. 1896, S. 170 ff.

Gleichstrom, da diese Wechselzahl eine niedrige ist. In diesem Falle sind bereits 200 Volt lebensgefährlich. Messungen durch Anfassen der Leitungen sind nur bei Spannungen bis zu 100 Volt zulässig und sollten gänzlich vermieden werden. Man berührt die beiden Pole gewöhnlich mit dem Daumen und Mittelfinger der rechten Hand und schließt aus der Stärke der physiologischen Wirkung auf die Spannung.

95. Chemische Wirkungen (I. B., 25 und II. B., 36). Der Gleichstrom wirkt auf die Elektroden (I. B., S. 39) in der Weise ein, dass er von der + Elektrode + Theilchen loslöst und diese auf die — Elektrode schafft; umgekehrt überführt er — Theilchen von der — Elektrode auf die +. Der Gleichstrom wirkt demnach immer in demselben Sinne, während der Wechselstrom bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne wirkt, sodass eine Lostrennung der Theilchen nicht platzgreift. Die elektrochemischen Wirkungen sind daher bei Wechselstrom ausgeschlossen.

96. Wärmewirkungen (I. B., 26 und II. B., 37). Auf diesen Wirkungen beruhen insbesondere die Hitzdraht-Instrumente und die Kalorimeter. Die Hitzdraht-Instrumente (22) beruhen auf der Ausdehnung eines Drahtes durch die Stromwärme. Die Wirkungen dieser Instrumente sind nach dem Joule'schen Gesetze (I. B., S. 44) dem Quadrate der Wärmewirkung proportional. 10 Ampère Gleichstrom z. B. erzeugen ebenso viel Wärme, als 10 Ampère Wechselstrom; auch die Anzahl der Polwechsel ist dabei ohne Einfluss. Instrumente dieses Grundsatzes sind deshalb sowohl für Gleichstrom als auch für Wechselstrom mit derselben Aichung geeignet. In den Kalorimetern (29) wird die Stromwärme an eine Flüssigkeit abgegeben. Diese Instrumente sind ungenau, höchst umständlich und daher unpraktisch; sie werden in der Elektrotechnik höchst selten für Gleich- und Wechselstrom verwendet.

97. Lichtwirkungen (I. B., 27 und II. B., 38). Sowie bei Gleichstrom kann man auch bei Wechselstrom aus der Helligkeit der Glüh- und Bogenlampen und der Länge des Lichtbogens auf die Spannung, bezw. Stromstärke schließen.

98. Mechanische Wirkungen (I. B., 28 und II. B., 39). Da der elektrische Funke Papier, Glas u. s. w. durchlöchert, kann man aus der Dicke des durchlöcherten Gegenstandes die Spannung abschätzen.

99. Elektromagnetismus (I. B., 29 und II. B., 40 bis 42). Galvanometer mit Magnetnadeln sind bei Wechselströmen unbrauchbar, weil das

rasch wechselnde magnetische Feld des Stromes auf das beständige Feld der Nadel keine Wirkung ausübt. Die Magnetnadel vermag demnach den raschen Wechseln des magnetischen Feldes nicht zu folgen und geräth bei langsamen Wechseln desselben in eine vibrierende (zitternde) Bewegung, während sie bei sehr raschen Wechseln keine Bewegung ausführt. Weicheisen-Instrumente eignen sich auch für Wechselstrom, wenn die Polwechselzahl eine gewisse Grenze nicht überschreitet, sodass der Eisenkern den wechselnden Magnetisierungen zu folgen vermag. Dieser Umstand trifft praktisch immer zu. Diese Instrumente müssen jedoch für Gleich- oder Wechselstrom besonders geaicht werden, da die Anzeigen bei Wechselstrom hinter den Angaben bei Gleichstrom zurückbleiben. Die Ursachen dieser Erscheinung sind:

1. Hysteresis und Wirbelströme. Ändert man die magnetisierende Kraft, so bleiben die Änderungen des Magnetismus hinter den Änderungen der Kraft zurück; diese Eigenschaft paramagnetischer Körper (I. B., S. 47) nennt man Hysteresis (Zurückbleiben). Wirbelströme sind Induktionsströme (I. B., S. 61). Die Hysteresis und die Wirbelströme in den Eisenbestandtheilen der Instrumente nehmen mit der Wechselzahl zu.

2. Wirbelströme in den Metalltheilen der Instrumente. Diese Ströme haben die entgegengesetzte Richtung als die zu messenden Ströme und schwächen somit deren magnetisches Feld.

Die Angaben der Weicheiseninstrumente sind im Gegensatze zu den Hitzdrahtinstrumenten (96) von der Form der periodischen Kurve der elektromotorischen Kraft (I. B., S. 117) und von der Polwechselzahl abhängig.

100. Wechselwirkungen zwischen Strömen (43). In diese Gruppe gehören die Elektrodynamometer (27). Bei denselben wechseln das feste und bewegliche magnetische Feld gleichzeitig die Richtung, sodass die endgiltige Wirkung bei Gleich- und Wechselstrom dieselbe bleibt. Die Ströme durchfließen die beiden Wickelungen hintereinander. Wechselt der Strom seine Richtung, dann wechselt er dieselbe sowohl in den festen, als auch in den beweglichen Windungen, sodass die Richtungen immer entgegengesetzt sind und Abstoßung eintritt. Obige Instrumente sind demnach mit derselben Aichung für Gleich- oder Wechselstrom verwendbar.

101. Elektrostatische (I. B., 30) **und elektromagnetische Induktion** (44). Auf der elektrostatischen Induktion beruhen die Elektrometer (31). Instrumente dieser Art werden vorwiegend für Wechselstrom-Messungen gebraucht. Der Blitz durchschlägt elektrostatische Voltmeter leicht, da sie die kürzeste Erdverbindung herstellen. Unter den

Instrumenten elektromagnetischer Induktion wollen wir solche Instrumente verstehen, welche Anziehung und Abstoßung zwischen einer festen, stromdurchflossenen Spule und einem beweglichen Leiter ausüben. Der letztere Leiter ist weder mit der Spule, noch mit deren Stromkreis in Verbindung. Diese Instrumente messen nur Wechselströme, weil sie nur unter den im I. B., § 61 angegebenen Ursachen Wirkungen ausüben. Versuche dieser Art wurden durch Elihu Thomson (1887), Fleming, Uppenborn, W. Peukert, Borgmann, Nipkow, Moser, G. T. Walker, M. v. Dolivo-Dobrowolsky (Phasometer), Teichmüller und Anderen ausgeführt.

102. Elektrische Schwingungen (45) werden insbesondere zum Nachweise der Form der Wechselstromkurven benützt.

II. Messungen.

103. Eintheilung. Hier sollen die Messmethoden zur Messung der Stromstärken, Spannungsdifferenzen, Effekte und Phasendifferenzen erörtert werden.

104. Messung der Stromstärken. Diese Messungen können wie bei Gleichstrom entweder direkt durch Strommessungen oder indirekt durch Spannungsmessungen an einem bekannten Widerstande vorgenommen werden.

1. Indirekte Messung der Stromstärke. Man unterscheidet vorwiegend zwei Methoden:

a) Die Instrumente werden mit Gleichstrom geaicht (eisenfreie Instrumente).

b) Die Aichung der Instrumente erfolgt mit jenen der Gruppe *a)* (eisenhaltige Instrumente).

Die Wechselstrom-Instrumente haben einen geringeren Messbereich und sind unempfindlicher als die Gleichstrom-Instrumente.

Für schwache Ströme finden Verwendung: Das gewöhnliche Hörtelephon, das optische Telephon, die Hitzdraht-Instrumente nach Friese mit Spiegelablesung, die Elektrodynamometer nach Friedrich Kohlrausch und O. Frölich mit Spiegelablesung, die Stromwage nach W. Thomson u. s. w. Bei der sogenannten Composite Balance-Stromwage wird immer nur eine Hälfte benutzt. Die linke Hälfte kann als Wattmeter, die rechte Hälfte als Ampèremeter für schwache Ströme (0 bis 1 Ampère) oder auch als Voltmeter mit einem bifilaren (I. B., S. 20) Vorschaltwiderstande verwendet werden. Für starke Ströme

dienen Elektrodynamometer (27) und Stromwagen (28). Bei den Hitzdraht-Instrumenten (37, 96) wird nur ein schwacher Draht den Stromänderungen folgen. Bei höheren Stromstärken darf man demnach durch das Instrument nur einen Nebenschluss führen. Man wählt dann einen unveränderlichen Widerstand aus gewelltem Bleche mit kleinstem Temperaturs-Koëfficienten und legt den Hitzdraht zu diesem Nebenschlusse parallel. Durch den Hitzdraht fließt jetzt bloß ein Zweigstrom und das Instrument misst die Spannung an den Anschließungspunkten an den Widerstand aus gewelltem Bleche. Da die Spannung $E = J.\ W$ (I. B., S. 24), so hängen die Angaben des Instrumentes nur von den Stromstärken ab.

2. Indirekte Strommessung durch eine Spannungsmessung an einem bekannten Widerstande (S. 31, Fig. 142). Diese Methode wurde bereits bei der Stromstärkemessung mit dem Hitzdraht-Ampèremeter besprochen. Die Stromstärke, welche durch das Galvanometer fließt darf nur bei Hitzdraht-Instrumenten nicht vernachlässigt werden.

Die Kompensationsmethoden (74) werden bisher bei Wechselstrom-Messungen nicht verwendet.

105. Messung der Spannungsdifferenzen. Hitzdraht-Instrumente, welche keine Selbstinduktion (I. B., S. 62) haben, können mit Gleichstrom geaicht werden. Bei Instrumenten mit Selbstinduktion dagegen kann die Aichung nur mit Wechselstrom erfolgen. Die Hitzdraht-Voltmeter verbrauchen Strom, die elektrostatischen Voltmeter fast keinen. Zu technischen Messungen dienen: Quadrant-Elektrometer (31), Elektrometer nach Carpentier, elektrostatische Spannungszeiger nach Braun und Andere. Den Hitzdraht-Instrumenten werden bifilare Widerstände (I. B., S. 20) vorgeschaltet. Die Messung hochgespannter Ströme erfolgt entweder ohne oder mit einem Transformator (I. B., S. 78). Der Transformator setzt hochgespannten Strom niederer Stromstärke in solchen von niederer Spannung und hoher Stromstärke um. Der Eisenkern des Transformators ist mit dünnem und dickem Draht umwickelt. Schickt man in die dünnen Drähte einen hochgespannten Strom, so geben die dicken Drähte einen niedrig gespannten Strom ab (II. Theil, S. 1 ff.). Einen hochgespannten Strom kann man behufs Messung auch durch eine Reihe gleichgroßer hintereinander geschalteter bifilarer oder abwechselnd unifilarer (5, S. 5) Widerstände senden, nur an einem solchen Widerstande die Spannung messen und diese Spannung mit der Anzahl der Widerstände multiplicieren. Hierbei verwendet man zumeist elektrostatische Instrumente.

106. Messung elektrischer Effekte (I. B., S. 26 und 110). Der Wattstundenzähler misst das Produkt $E\ J\ cos\ \varphi$ (I. B., S. 124).

107. Messung der Phasendifferenzen (I. B., S. 116). Die Spannung kann man an einem Voltmeter, die Stromstärke an einem Ampèremeter ablesen. Den *cosinus* der Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung erhält man dann, wenn man die Ablesung am Wattstundenzähler durch das Produkt der Ablesungen am Volt- und Ampèremeter dividiert, d. h.: $cos\ \varphi = \frac{E.J.cos\ \varphi}{E.J}$.

Die Phasendifferenz zweier Ströme bestimmen die Phasenmesser nach Dolivo von Dobrowolsky[1]) und J. Teichmüller[2]). Apparate dieser Konstruktion erzeugen ein sich drehendes magnetisches Feld, sowie dasselbe in Drehstrommaschinen (I. B., S. 76, Fig. 92) entsteht. Diese Instrumente enthalten Eisen, der Phasenmesser nach Josef Tuma[3]) ist eisenfrei und gestattet auch direkte Ablesungen. Er besitzt ein feststehendes und darauf senkrecht ein bewegliches Spulenkreuz, durch welche die Ströme verschiedener Phase geschickt werden.

108. Frequenzmesser nach Gustav Wilhelm Meyer[4]). In einer von Wechselstrom durchflossenen Spirale befindet sich ein Eisendraht, welcher durch die Erwärmung Längenänderungen erfährt und auf einen Zeiger überträgt. Der Apparat misst die Anzahl der Perioden in der Sekunde (I. B., S. 116).

VIII. Kapitel.

Magnetische Messungen.

109. Allgemeines. Die Kraft, mit welcher zwei magnetische Theilchen aufeinander einwirken, bestimmt das Gesetz nach Coulomb (I. B., S. 92). Bringt man einen Magnetpol in ein magnetisches Feld (I. B., S. 56), so wird auf denselben eine Kraft in einer bestimmten Richtung einwirken. Der Magnetpol bewegt sich dann in einer krummen Linie, welche man Kraftlinie (I. B., S. 56) nennt. Die magnetische Kraft wirkt in irgend einem Punkte dieser Kurve in der Richtung der

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1894, S. 350.

[2]) Elektrotechnische Zeitschrift 1897, S. 569, 581, 616 ff.

[3]) Elektrotechnische Zeitschrift 1898, S. 332, D. R. P. Nr. 95954.

[4]) Elektrotechnische Zeitschrift 1897, S. 47, Zeitschrift für Elektrotechnik 1896, S. 520 und 1897, S. 49, 513.

Tangente. Die auf den Pol 1 ausgeübte Kraft nennt man die Intensität des magnetischen Feldes und bezeichnet dieselbe mit dem Buchstaben $\mathfrak{H}$ (I. B., S. 93, §. 100).

Die Kraftlinien eines Magnetpoles P kann man sich als die Halbmesser einer Kugel vorstellen. Denkt man sich den Magnetpol P als Centrum einer Kugel, so schneidet die Kugelfläche die Kraftlinien in Punkten gleichen Potentials (I. B., S. 93, §. 98). Diese Kugelflächen heißen Niveauflächen. Von dem Pole eines langen dünnen Magnetes denkt man sich unendlich viele Kraftlinien ausgehend. Ist m die Stärke des Magnetpoles und r der Halbmesser der Kugel, so wirkt auf den Einheitspol der Oberfläche der Kugel die konstante Kraft $\frac{m}{r^2}$. Befindet sich im Mittelpunkte einer Kugel K, vom Halbmesser 1 *cm* im Magnetpol von der Stärke 1 im absolutem Maße, so sagt man, auf einen cm^2 der Oberfläche entfällt eine Kraftlinie. $4\pi r^2$ ist die Oberfläche der Kugel oder 4π, wenn $r = 1$. Die Anzahl der Kraftlinien, welche vom Einheitspole ausgehen, muss daher 4π sein. Die Kraft, welche auf einen Einheitspol p der Kugelfläche K_1 ausgeübt wird, bestimmt die Intensität des Magnetpoles P. Beträgt die Stärke beider Pole 1 und ist $r = 1$, so hat diese Kraft den Wert 1; d. h. die Intensität des magnetischen Feldes an irgend einem Punkte der Kugelfläche $K_1 = 1$ oder $\mathfrak{H} = 1$ im absolutem Maße.

Beschreiben wir um P eine zweite Kugelfläche K_2 mit dem Radius R, so ist nach dem Coulomb'schen Gesetze $\mathfrak{H} = \frac{1}{R^2}$.

Nach Maxwell nennt man das Produkt der durch eine Flächeneinheit irgend einer Fläche gehende Zahl der Kraftlinien in das Maß der betreffende Fläche, also die Gesammtzahl der die Fläche durchströmenden Kraftlinien magnetische Induktion.

Die verschiedenen Materialien sind für die Kraftlinien verschieden durchlässig, d. h. sie haben eine verschiedene Permeabilität.

Die Materialien setzen dem Magnetisieren und Entmagnetisieren einen Widerstand entgegen, welchen man als Coercitivkraft bezeichnet.

Auch ein elektrischer Strom bringt ein magnetisches Feld hervor. Man hat gefunden, dass die Intensität des magnetischen Feldes (Magnetisierende Kraft) im Centrum eines Solenoides (I. B., S. 47), also die Anzahl der Kraftlinien für 1 cm^2 Querschnitt $\mathfrak{H} = \frac{4\pi n i}{10\, l}$, wenn $\pi = 3{\cdot}14159\ldots$, $n =$ Windungszahl, $i =$ Stromstärke in den Windungen in Ampère, $l =$ Länge der Diagonale eines Schnittes, welcher

durch die Achse des Solenoides gelegt wird in *cm*. Falls l sehr groß ist, kann man anstatt dieser Diagonale die Länge des Solenoides einsetzen. Bezeichnet man r als den mittleren Radius der Windungen, so treten am Ende des Solenoides N Kraftlinien aus. Dann ist $N = \frac{4\pi}{10}\frac{n i}{l} r^2 \pi$. Einem Magnet von der Polstärke Eins entsprechen nach obigem 4π Kraftlinien. Dividiert man daher die Anzahl der Kraftlinien N des Solenoides durch die Zahl 4π, welche der Polstärke 1 entspricht, so ergibt sich die Polstärke m des Solenoides: $m = \frac{n i}{10 l} r^2 \pi$ oder $N = 4\pi m$. In den letzten Formeln fällt der Faktor 10 weg, falls i in absoluten Einheiten eingeführt wird (I. B., S. 97, §. 108).

Bringt man in das Solenoid einen Eisenstab, so ist sein magnetisches Moment $\mathfrak{m} = m l$ (I. B., S. 92, §. 97) und die Intensität der Magnetisierung $i = \frac{M}{V}$ (I. B., S. 93, §. 99) oder mit Bezug auf die früheren Bezeichnungen (I. B., S. 92, §. 97): $i = \frac{\mathfrak{m}}{v} = \frac{m l}{v}$. Das Volumen v hat für einen cylindrischen Stab den Wert $v = q . \mathrm{l}$ und daher ist $\mathfrak{J} = \frac{m l}{q l} = \frac{m}{q}$, d. h. $\mathfrak{J}$ = magnetische Masse für 1 cm^2 der Polfläche oder magnetische Flächendichte. Den Quotienten $\frac{\mathfrak{J}}{\mathfrak{H}} = \varkappa$ nennt man **Susceptibilität** oder **Magnetisierungs-Koëfficient** des Eisens. Die letzte Gleichung drückt aus, dass jeder Kraftlinie des Feldes $\varkappa$ magnetische Einheiten zugehören. Jede Kraftlinie des Feldes des Solenoides treibt $\varkappa$ magnetische Einheiten oder nach Früherem $4\pi\varkappa$ Kraftlinien durch 1 cm^2 des Stabquerschnittes. Vorher kamen auf 1 cm^2 $\mathfrak{H}$ Kraftlinien; das Eisen vermehrt die Anzahl der Kraftlinien (metallische Induktion). Jede Kraftlinie des Feldes erzeugt $4\pi\varkappa$ Kraftlinien im Eisen. Die Gesammtzahl der gewonnenen Kraftlinien beträgt demnach $4\pi\varkappa\mathfrak{H} = 4\pi\mathfrak{J}$. Daher hat die Gesammtzahl der Kraftlinien im magnetisierten Eisen den Wert:

$\mathfrak{H} + 4\pi\varkappa\mathfrak{H} = \mathfrak{H}\,(1 + 4\pi\varkappa\,\mathfrak{H})$; sie wird mit dem Buchstaben $\mathfrak{B}$ bezeichnet: $\mathfrak{B} = \mathfrak{H}\,(1 + 4\pi\varkappa\,\mathfrak{H})$. Unter $\mathfrak{B}$ versteht man demnach die **magnetische Induktion**, oder die **Gesammtzahl der Kraftlinien** für 1 cm^2 **des Eisenquerschnittes**. Das Verhältnis $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{H}}$ bezeichnet man mit μ. $\mu = 1 + 4\pi\varkappa\,\mathfrak{H}$. Dieses Verhältnis heißt **magnetische Durchlässigkeit** (Permeabilität, Induktions-Kapacität, magnetische Leitungsfähigkeit). Nach dem obigen ist $\mathfrak{B} = \mathfrak{H} + 4\pi\mathfrak{J}$

und $\mathfrak{J} = \frac{\mathfrak{B}-\mathfrak{H}}{4\,\pi}$. Die Größen $\varkappa$ und μ sind nicht konstant, sondern abhängig vom Materiale, von der Form des Eisenstabes und von der magnetisierenden Kraft. Den reciproken Wert der Durchlässigkeit nennt man „Magnetischen Widerstand.“ Bosanquet nennt die magnetisierende Kraft „Magnetomotorische Kraft“. Ewing erreichte Induktionen bis zu 45000 Kraftlinien für 1 cm^2. In der Praxis verwendet man höchstens 20000 Kraftlinien für 1 cm^2.

Die Größe $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{H}} = \mu$ hängt nach Warburg von dem zeitlichen Verlaufe der im Eisen auftretenden Erscheinungen ab. Trägt man die Ampèrewindungen für 1 *cm* Länge des Stabes auf der Abscissenachse, die Kraftlinien für 1 cm^2 auf der Ordinatenachse auf, so findet man für die aufsteigenden Ampère eine andere Kurve, als für die abfallenden. Man nennt diese Erscheinung Hysteresis (S. 96) und schließt aus derselben auf den remanenten (zurückbleibenden) Magnetismus (I. B., S. 72) und auf die Arbeit, welche zur Magnetisierung erforderlich ist. Chas. Prot. Steinmetz hat durch Versuche folgende Formel gefunden: $\mathfrak{A} = \eta\,\mathfrak{B}^{1\cdot6}$, worin $\mathfrak{A}$ = Arbeit in Erg zur Magnetisierung des betreffenden Materiales für 1 cm^3 in den Grenzen $+\,\mathfrak{B}$ und $-\,\mathfrak{B}$, η = Konstante für das bestimmte Material. Für die Praxis muss η möglichst klein sein. Nach Du Bois und Taylor besitzt eine schwedische Walzeisensorte den Wert $\eta = 0{\cdot}001$. Dieser Wert sinkt nach Steinmetz bis $\eta = 0{\cdot}02$. η hängt von der chemischen und mechanischen Beschaffenheit des Materiales ab. Sehr wertvolle Untersuchungen über österreichische Stahl- und Eisensorten hat Ernst Egger [1]) veröffentlicht. Nicht nur die Unmagnetisierung sondern auch die Induktionsströme (I. B., S. 61) im Eisen bedingen einen Arbeitsverlust. Man nennt diese Induktionsströme Wirbelströme (S. 96). Der erzeugte specifische Arbeitsverlust $\frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{V}}$ beträgt nach Steinmetz [2]) $\frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{V}} = \eta\,\mathfrak{B}^{1\cdot6} + \varepsilon N \mathfrak{B}^2$, wenn $\mathfrak{V}$ = Volumen in cm^3, η = Koëfficient der Hysteresis (für 1 cm^3 gewöhnliches Schmiedeeisen rund 0·0033), $\mathfrak{B}$ = Anzahl der Kraftlinien für 1 cm^2, η = Koëfficient der Wirbelströme (von 0 aufwärts), N = Periodenzahl des wechselnden Magnetismus, $\eta\,\mathfrak{B}^{1\cdot6}$ hat die obige Bedeutung (specifischer Arbeitsverbrauch in Erg durch wahre Hysteresis für einen magnetischen Kreisprocess (für ein Magnetisieren nach aufsteigenden und abfallenden Ampère), $\varepsilon N \mathfrak{B}^2$ = Specifischer Arbeitsverbrauch durch Wirbelströme für 1 Kreisprocess.

---

[1]) Ernst Egger, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1897, Heft IV.
[2]) Chas. Prot. Steinmetz, Elektrotechnische Zeitschrift, 1892, S. 59.

Für die Praxis nimmt man die Formeln:

$\mathfrak{A}_h = 260.\ 10^{-10}\ N\,\mathfrak{B}^{1 \cdot 6}$ Hysteresis in Watt für 1 *kg* Eisen.

$\mathfrak{A}_w = 1400.\ 10^{-16}\ \delta^2\ N^2\,\mathfrak{B}^2$ Wirbelstromverlust in Watt für 1 *kg* Eisen, worin $N =$ Periodenzahl in der Sekunde, $B =$ maximale Induktion für 1 cm^2, $\delta =$ Dicke der Eisenbleche in *mm*, giltig bis $\delta =$ $= 1$ *mm*. Eisenbleche sind unbrauchbar, wenn sie für einen Kreisprocess (Cyklus) und 1 cm^3 bei $\mathfrak{B}$ max. $= 18000$ *C. G. S.* mehr als 15000 Erg an Hysteresis zeigen: Mittelgutes Blech verbraucht 10000 Erg, schwedisches Blech dagegen 6000—7000 Erg. Mit der Temperatur und Härte des Materiales nimmt die Hysteresis ab. Die erfolgreichsten Forscher auf dem Gebiete des Magnetismus sind: J. Müller, Dub, W. Thomson, von Waltenhofen, Wassmuth, Frölich, Rowland, R. H. Bosanquet, Kapp, J. und E. Hopkinson, Ewing, Steinmetz, Warburg, Kunz, Mordey, Fleming, Corsepius, H. du Bois und E. Taylor Jones und Andere.

110. Die Form der Prüfstücke. Die Enden eines magnetisierten Körpers erzeugen eine entmagnetisierende Kraft beim Verschwinden des Magnetismus. Die Form der Prüfstücke muss demnach eine solche sein, dass diese Wirkung praktisch vernachlässigt werden kann, wenn man die Prüfung ohne Berechnung des Einflusses der entmagnetisierenden Kraft durchführen will. Der Einfluss der Enden ist auf die Vertheilung der Induktion in folgenden Fällen unbedeutend:

1. Der Stab hat eine 400 mal so große Länge als der Durchmesser.

2. Das Probestück hat die Form eines Ringes. Bewickelt man einen Ring gleichmäßig mit Windungen und schickt durch dieselben Strom, so erhält man ein gleichmäßiges (homogenes) magnetisches Feld. Ein solcher Ring erzeugt keine Pole (I. B., S. 58), beeinflusst das magnetische Feld nicht und übt keine entmagnetisierende Kraft aus.

3. Der magnetische Kreis besteht aus einem stabförmigen Prüfstücke, einem Schlussstücke und einem kleinen Luftraum von genau bekannten Abmessungen.

111. Messmethoden und Apparate. Zumeist finden die folgenden Methoden Verwendung: Einfachste Stahlprüfung, Wismutmethode, Magnetometrische Methode, Ballistische Methode, Methoden nach Hopkinson, Magnetometer nach Eickmeyer, Apparate nach Searle, Ewing, Koepsel, Kenelly, Silv. Thompson und Bruger. Magnetische Wage nach Du Bois, Siderognost nach Corsepius und Anderen. Hier sollen nur die ersten Methoden besprochen werden.

112. Einfachste Stahlprüfung. Der Magnetstahl wird umso besser sein, je größer die Anzahl der Kraftlinien ist, welche denselben bei magnetischem Kurzschlusse durchfließen. Durchschneidet man einen magnetisierten Stab vom Querschnitte Q aus weichem Eisen in der Mitte, so hat nach Maxwell die zwischen den beiden Hälften wirkende Kraft P den Wert:

$$P = 2\,\pi\,\mathfrak{J}^2 Q = \frac{\mathfrak{B}^2 Q}{8\,\pi}\ \text{Dyn} = \frac{\mathfrak{B}^2 Q}{981.8\,\pi} = 0{\cdot}0010194\,\frac{\mathfrak{B}^2 Q}{8\,\pi} =$$

$= \frac{\mathfrak{B}^2 Q}{24643}$ Gramm, wenn $\mathfrak{J}$ = Intensität der Magnetisierung, Q = Querschnitt im cm^2 und $\mathfrak{B}$ = Anzahl der Kraftlinien für 1 cm^2. Rundet man den Nenner der letzten Formel ab, so ergibt sich $P = \frac{\mathfrak{B}^2 Q}{25000}$ und die Zugkraft in kg für 1 cm^2 $P = \frac{\mathfrak{B}^2}{25000 . 1000} = \left(\frac{\mathfrak{B}}{5000}\right)^2$. Diese Zugkraft beträgt demnach

bei 1×5000 Kraftlinien für 1 cm^2 1 kg,
„ 2×5000 „ „ „ 4 „ und allgemein
„ $n \times 5000$ „ „ „ n^2 „.

Man verwendet zumeist Hufeisenmagnete; dann muss man Q, weil zwei Trennungsflächen vorhanden sind, durch zwei dividieren.

Guter gehärteter Stahl erzeugt demnach für einen geschlossenen magnetischen Stromkreis bei $\mathfrak{B}$ = 10000 *C. G. S.* Einheiten eine Zugkraft = 4000 Q Gramm.

Aus der obigen Formel erhält man weiters

$$\mathfrak{B} = \sqrt{8\,\pi . 981\,\frac{P}{Q}} \backsim 157\,\sqrt{\frac{P}{Q}}.$$

113. Eisenprüfung durch eine Wismutspirale. Nach Righi ändert Wismut im magnetischen Felde seinen Widerstand. Diese Eigenschaft des Wismutes benützen Leduc und Hartmann & Braun zur Messung magnetischer Felder.

114. Magnetometrische Methode. Man bestimmt den Magnetismus durch die Einwirkung desselben auf eine Magnetnadel (Magnetometer). Da jedoch ein ringförmiger Magnet keine Wirkung nach Außen hin ausübt, so können mit dieser Methode nur Magnetismen in Stäben aus Eisen oder Stahl gemessen werden. Bringt man das Prüfstück in die Ost-West-Richtung und ist P_1 die richtende Kraft des Erdmagnetismus, so hat die ablenkende Kraft des Prüfstückes auf die Nadel den Wert

$P = P_1\, tg\, \alpha$, wenn α den durch die Kräfte P und P_1 bewirkten Ablenkungswinkel bedeutet. Da Bewegungen und Lagenänderungen großer Eisenmassen diese Messungen beeinflußen, sind dieselben hauptsächlich nur für Laboratorien geeignet.

115. Ballistische Methode. Man versieht das Probestück (Stab oder Ring) mit zwei Wickelungen W_1 und W_2. In der einen Wickelung W_1 befindet sich das Probestück, in der anderen W_2 ein balistisches Galvanometer (S. 40). Als solches ist jedes Galvanometer verwendbar, wenn man den beweglichen Theil durch ein kleines Gewicht träge gestaltet. Ändert man durch Öffnen und Schließen, Richtungswechel, plötzliches Stärken oder Schwächen den Strom in W_1 den Magnetismus des Probestückes, so wird in der Spule W_2 eine Elektricitätsmenge erzeugt, welche dem Magnetismus proportional ist. Die in dem Solenoid W_1 ohne Probestück erzeugten Kraftlinien $\mathfrak{H}$ sind nach früherem (§. 109)

$\mathfrak{H} = \frac{4\pi n i}{10\, l}$ und die Anzahl der aus dem ganzen Querschnitte $r^2\pi$ austretenden Kraftlinien

$$N = \frac{2\pi n i}{10\, l}\, r^2 \pi.$$

Umgibt man demnach die Spule W_1 ohne Eisenkern mit einer zweiten Spule W_2 und beobachtet den Ausschlag am ballistischen Galvanometer, welches in W_2 eingeschaltet ist, so erhält man den Zusammenhang zwischen N und Ablenkungswinkel α. Da nun N und α proportional sind, so hat man jetzt das balistische Galvanometer für die Messung mit dem Prüfstücke geaicht.

Mit Hilfe dieser Methode kann man auch den jeweilig vorhandenen Magnetismus des Stabes bestimmen. Zieht man nämlich die Spule W_2 plötzlich von dem Stabe herunter, so entsteht ein Inductionsstrom und das geaichte Galvanometer zeigt die Anzahl der Kraftlinien an.

Die ballistische Methode gibt bei ringförmigen Probestücken vollkommen zuverlässliche Resultate.

IX. Kapitel.

Photometrie.

116. Photometrische Einheiten (II. Theil, S. 107).

1. Lichtstärke J heißt die Intensität einer punktförmigen Lichtquelle. Als Einheit der Lichtstärke gilt die Lichtstärke der Hefner-Kerze *H. K.* in horizontaler Richtung.

2. Lichtstrom Φ nennt man die Erfüllung eines kleinen räumlichen Winkels ω mit Licht. Die Einheit des Lichtstromes ist jener Lichtstrom, welcher von der Hefner-Kerze nach dem räumlichen Winkel Eins ausgestrahlt wird. Man bezeichnet diese Einheit mit dem Namen Lumen und dem Zeichen Lm.

3. Beleuchtung $E = \frac{\Phi}{S}$ oder das Verhältnis der auf eine Fläche auffallenden Lichtströme Φ zur Größe der Fläche S in cm^2 oder m^2 oder $E = \frac{J}{R^2}$ wenn R = senkrechter Abstand der Lichtquelle von der Fläche in cm oder m. Unter der Einheit der Beleuchtung versteht man die Beleuchtung der Flächeneinheit (cm^2 oder m^2) durch das Lumen oder die Beleuchtung einer ebenen Fläche im senkrechten Abstande vom 1 cm oder 1 m durch die Kerze. Die Einheit der Beleuchtung heißt Lux oder kurz Lx (Meterkerze).

4. Flächenhelligkeit (Glanz) H einer Lichtquelle heißt das Verhältnis der Lichtintensität J zur leuchtenden Oberfläche S, d. h.: $H = \frac{J}{S}$; S in cm^2 oder m^2. Die Einheit der Flächenhelligkeit nennt man die Flächenhelligkeit jener Fläche, der Flächeneinheit (cm^2 oder m^2) die Lichtstärke einer Kerze besitzt; sie führt die Namen Kerze für 1 cm^2 oder m^2, Centimeterquadratkerze oder Meterquadratkerze.

5. Lichtmenge (Lichtleistung) Q oder das Produkt eines Lichtstromes in die Dauer der Beleuchtung. Als Einheit der Lichtmenge wählt man das eine Zeiteinheit (Sekunde oder Stunde) dauernde Lumen und nennt sie Lumen-Sekunde oder Lumen-Stunde.

117. Die Hefner-Lampe (Amylacetatlampe) nach von Hefner-Alteneck, Fig. 93. Die Definition[1]) dieser Lampe ist die folgende:

„Als Einheit der Lichtstärke dient die frei, in reiner und ruhiger Luft brennende Flamme, welche sich aus dem horizontalen Querschnitt eines massiven, mit Amylacetat gesättigten Dochtes erhebt. Dieser Docht erfüllt ein kreisrundes Neusilberröhrchen vollständig, dessen lichte Weite 8 mm, dessen äußerer Durchmesser 8·3 mm beträgt, und welches eine freistehende Länge von 25 mm besitzt. Die Höhe der Flamme soll, vom Rande der Röhre bis zur Spitze gemessen, 40 mm betragen. Die Messungen haben erst 10 Minuten nach der Entzündung der Flamme zu be-

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1883, Nov., 1884, S. 20., 1886, S. 139. Journal für Gasbeleuchtung, 1884, Nr. 3, 23, 24, 1886, Nr. 1 und 35.

ginnen.“ Fig. 93 zeigt in der Mitte die Lampe mit abgeschraubtem Deckel. Dieselbe besteht aus einem cylindrischen, innen verzinnten Messinggefäß, welches etwa 0·25 *l* fasst. Aus dem Messinggefäße ragt das cylindrische Dochtrohr hervor. Den Docht bildet ein Strang von 15 bis 20 Fäden aus einem groben, sehr weichen Baumwollgespinst (Lunten- oder Dochtgarn). Der Docht ragt nicht in die Flamme hinein und darf nicht zu stark in das Dochtröhrchen eingepresst sein; derselbe kann durch ein Zahngetriebe auf und abwärts bewegt werden. Zur Bestimmung der Flammenhöhe dient zunächst die in der Figur ersichtliche einfache Visiervorrichtung. Ganz links steht in derselben Figur die Controllehre für das Neusilberröhrchen, daneben der Deckel für das Dochtrohr, rechts das optische Flammenmaß nach Krüss. Letzteres besteht aus einer bikonvexen Linse, welche ein umgekehrtes Bild von der Flamme auf einer matten Glastafel erzeugt. Auf der matten Glastafel befindet sich eine Theilung oder ein horizontaler schwarzer Strich (Durchmesser). Die Spitze der Flamme muss diesen Durchmesser berühren. Zur Hefner-Lampe gehört schließlich eine Dochtschere. Bei einer Flammenhöhe $l = 40$ bis 60 *mm* hat die Leuchtkraft den Wert $1 + 0{\cdot}025\ (l - 40)$. Für $l < 40$ dagegen berechnet man die Leuchtkraft nach der Formel $1 - 0{\cdot}03\ (40 - l)$. Die Gebrauchsanweisung der Firma Siemens & Halske umfasst die Definition, Einstellung der Flammenhöhe, Docht-Beschaffenheit, Abschneiden des Dochtes, Füllung, Dochtröhrchen, Aufstellung der Lampe, Lufttemperatur, Luftdruck, Reinheit der Luft, Größe der Einheit.

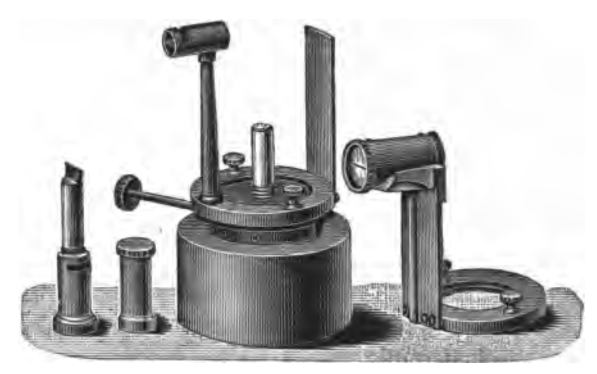


Fig. 93. Hefnerlampe.

118. Vergleichs- oder Zwischenlichtquellen. Anstatt der Hefner'schen Amylacetatlampe verwendet man für den gewöhnlichen Gebrauch Benzinlämpchen mit Cylindern, welche billiger und gegen Luftzug geschützt sind und bei der Messung hoher Leuchtkräfte (Bogenlampen) Glühlampen. Als Stromquelle bewährt sich bei allen Messungen überhaupt der Accumulator am besten. Durch die Regulierung der

Stromstärke kann man auch die gleiche Farbe der Zwischen-Lichtquelle und der zu messenden erzielen.

119. Photometrische Kriterien. Die wichtigsten unterscheidenden Merkmale (Kriterien) sind das Kontrastprincip und die Einstellung auf gleiche Helligkeit. Beim Kontrastprincip beobachtet man das gleichstarke hervortreten zweier Felder gegen ihre Umgebung, bei der Einstellung auf gleiche Helligkeit dagegen das Verschwinden eines Feldes in einem anderen.

120. Photometer nach Bunsen. Dieser Apparat besteht aus einer in *mm* getheilten Schiene, durch welchen die Einheitskerze, ein Schirm und die zu vergleichende Lichtquelle geführt werden.

Der Schirm aus Papier ist für das Licht ungleich durchlässig, da er in der Mitte einen Fettfleck besitzt Joly und Elster nehmen anstatt des Papieres ein parallelepipedisches Stück Paraffin, welches durch ein eingelegtes dünnes Metallblatt in 2 Hälften zerlegt erscheint. Jede Hälfte des Paraffins empfängt nur von einer der zu vergleichenden Lichtquellen Licht. Man verstellt den Schirm zwischen den Lichtquellen im Dunkelraume so lange, bis die beiden Seiten das gleiche Aussehen haben. Dann gilt der allgemein photometrische Grundsatz:

$J_1 : J_2 = d^2 : D^2$, worin J_1 die Hefnerkerze, J_2 die Anzahl der zu vergleichenden Kerzen, d die Entfernung von J_2 vom Schirme, D die Entfernung von J_1 vom Schirme. D. h.: Die Leuchtkräfte verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen der Lichtquellen vom Schirme. Ist $J_1 = 1$, $d = 2$ und $D = 4$, so verhält sich

$1 : J_2 = 2^2 : 4^2$ oder $J_2 = \frac{1 \,.\, 4^2}{2^2} = 4$ *H. K.*, wobei die Entfernungen in jedem beliebigen Maßstabe (*mm*, *cm*, *m*) eingesetzt werden können. Für die Einheitskerze ist gewöhnlich die Einrichtung getroffen, dass man die *H K* direkt ablesen kann.

121. Photometer nach O. Lummer und E. Brodhun.[1]

1. Mechanische Justierung des Photometergehäuses.

Zum Gebrauche dieses Photometers auf gerader Photometerbank war die Fig. 94 skizzierte Anordnung gewählt.[2]

Lothrecht zur Achse der Photometerbank steht der Gips-Schirm *i k*, welcher gar kein Licht hindurchlässt und dessen beide Seiten von den Lichtquellen *n* bezw. *m* beleuchtet werden. Das diffuse, von den

---

[1]) Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1892, Februar.

[2]) Vgl. Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 1889, S. 44. — Journ. für Gasb. und Wasservers., 1889, S. 385.

Schirmseiten λ und *l* ausgehende Licht fällt auf die Spiegel *e* bezw. *f*, welche dasselbe senkrecht auf die Kathetenflächen *c b* und *d p* der Prismen *B* und *A* werfen. Der Beobachter bei *O* blickt durch die Lupe *w* senkrecht zu *a c* und stellt scharf auf die Fläche *a r s b* ein. Der Schirm *i k* die Spiegel *e* und *f*, der Würfel *A B* und das Okularrohr *v w* sitzen im Photometergehäuse, welches auf dem Schlitten der Photometerbank befestigt ist. Einerseits hat man die im Gehäuse befindlichen Theile, andererseits die Stellung des Gehäuses auf der Bank zu justieren. Das Gehäuse ist in sich justiert, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

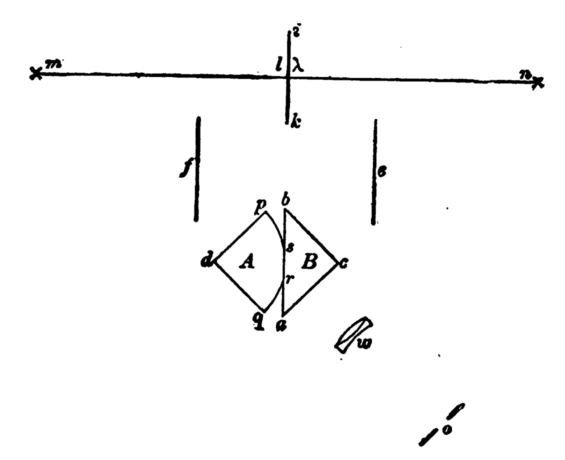


Fig. 94. Anordnung des Photometers nach Lummer-Brodhun.

1. Die Ebene der Berührungsfläche *r s* (bezw. der Hypotenusenfläche *a b* des Prismas *B*) muss zusammenfallen mit der Ebene *i k* des Schirmes (oder genauer ausgedrückt mit dessen Mittelebene). Wird die gemeinschaftliche Ebene als Symmetrieebene bezeichnet, so muss

2. Die Umdrehungsachse des Gehäuses in der Symmetrieebene liegen und

3. durch die Mitte der Berührungsfläche *r s* und des Schirmes *i k* gehen.

4. Die Kanten der Prismen *A* und *B* sollen senkrecht zur Umdrehungsachse und parallel zur Symmetrieebene sein, während

5. die Spiegelebenen parallel zur Symmetrieebene liegen sollen, so dass

6. die vier Mittelpunkte der Spiegel, der Fläche *r s* und des Schirmes *i k* in einer zur Symmetrieebene senkrechten Ebene liegen und ein Quadrat bilden. Diese Mittelpunktsebene (der Hauptschnitt) soll

7. die Okularachse enthalten, die auf der Kathetenfläche *a c* des Prismas *B* senkrecht steht.

Fig. 95 zeigt die neueste Konstruktion des Photometers.

Die Papierebene sei die Ebene des Hauptschnittes; sie enthält also die Umdrehungsachse *u z* und steht senkrecht auf der Symmetrieebene.

Von der letzteren geht Haensch bei der Herstellung des Gehäuses aus, indem er sie durch die Berührungsfläche zweier etwa 6 *mm* dicken Metallplaten *y* und *t* von 16 *cm* Länge und 6 *cm* Höhe darstellt. Beide Platten werden fest miteinander verankert und auf der Drehbank so montiert, dass die Umdrehungsachse in ihrer Berührungsfläche liegt. Hierauf dreht man rechts und links soviel ab, dass nur je ein cylindrischer Zapfen stehen bleibt; die Achse dieser Zapfen wird die Umdrehungsachse *u z* des Gehäuses. Da sie in der Symmetrieebene liegt, so ist die

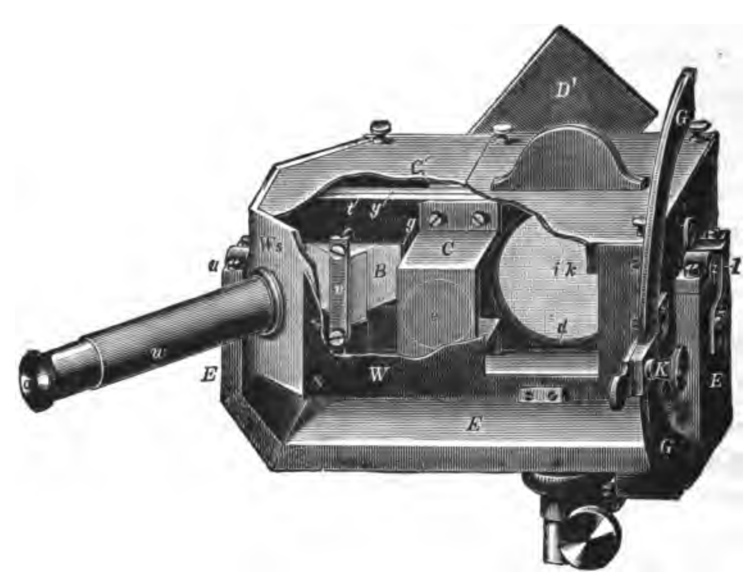


Fig. 95. Neueste Konstruktion des Photometers Lummer-Brodhun.

Bedingung 2 erfüllt. Um die für den Schirm *i k*, Fig. 95 und 96 und die Prismencombination *A B* nothwendigen Hohlräume herzustellen, trennt man die Platten *y* und *t* von einander und fräst zunächst bei *i k* gleichviel aus beiden Platten, bis die Fassung des Schirmes mit geringer Reibung in die entstandene Öffnung hineinpasst. Es fällt dann die Mittelebene des Schirmes mit der Symmetrieebene zusammen. Dabei kann leicht dafür gesorgt werden, dass sein Mittelpunkt nach dem Einstecken auf der Achse *u z* liegt. Außerdem werden beide Platte *y* und *t* bei *c c'* und *d d'* konisch durchbohrt, damit der Schirm von beiden Seiten Licht empfangen kann.

Es soll nun in die Berührungsfläche der Platten auch die Berührungsebene der Prismenkombination *A B* bezw. die Hypotenusenfläche des Prismas *B* fallen.

Dazu wird aus den Platten y und t bei $h\,h'$ bezw. $g\,g'$ ein Stück von rechteckigem Grundriss ausgeschnitten, welches sich ebenfalls von der äußeren zur inneren Fläche verjüngt; den Ausschnitt der Platte t auf der Symmetrieebene wählt man etwas größer als die Hypotenusenfläche des Prismas B den entsprechenden Ausschnitt der Platte y etwas kleiner.

Man kann also das Prisma B an die vorspringenden Ränder der Platte y anlegen, wodurch seine Hypotenusenfläche in die Symmetrie-

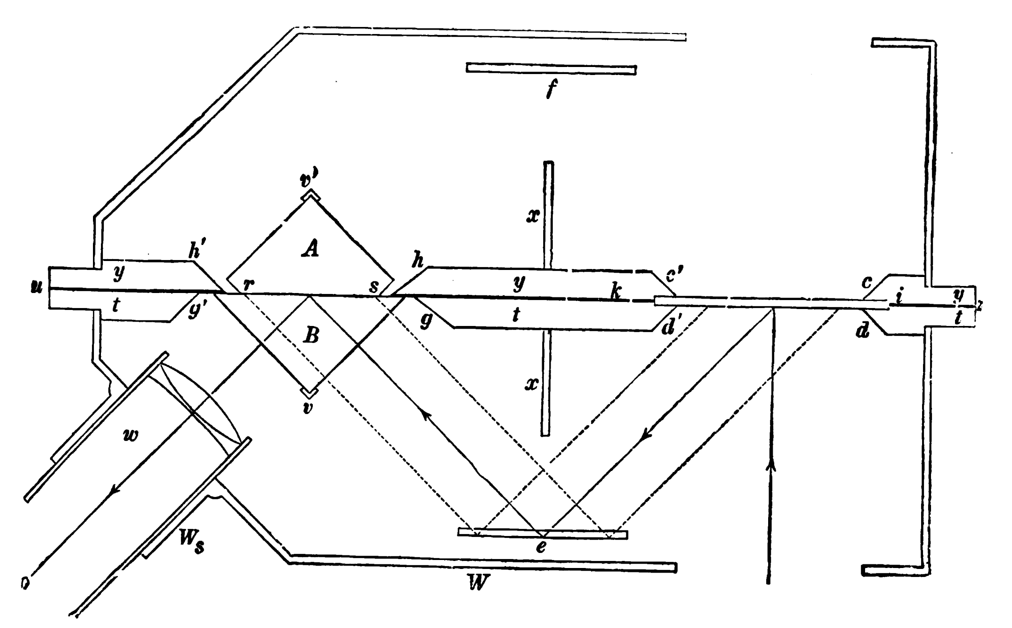


Fig. 96. Schnitt durch das Photometer Lummer-Brodhun.

ebene fällt. Um den Prismen die richtige Lage zu geben, sind die rechteckigen Ausschnitte $g\,g'$ und $h\,h'$ so gelegt, dass ihre Ränder parallel bezw. senkrecht zur Achse $u\,z$ laufen, während ihre Mittelpunkte auf letzterer liegen.

Man orientiert demnach das Prisma B beim Einlegen nach den Rändern der Ausschnitte und presst es fest gegen die Platte y. Dazu dient die bewegliche Vertikalschiene o des in Fig. 95 sichtbaren Rahmens, welche durch zwei Schrauben angezogen werden kann. Das zweite Prisma A (Fig. 96) ist stets auf seiner Hypotenusenfläche am Rande kugelförmig abgeschliffen. Mit seiner ebenen Fläche $r\,s$ kann es also gegen das Prisma B mittels der zweiten Vertikalschiene v', (in Fig. 95 unsichtbar) so ge-

presst werden, dass seine Kanten die gewünschte Lage haben. Dadurch sind dann die Bedingungen 1, 3 und 4 erfüllt. Da man beim Beobachten auf die Fläche *r s* einstellt, so dient der Rand der abgeschliffenen Hypotenusenfläche des Prismas *A* als Begrenzung des Sehfeldes, falls man den freien Theil der Hypotenusenfläche des Prismas *B* mit mattem Asphaltlack bestreicht. Dasselbe wird also in jedem Falle außerordentlich scharf, und zwar elliptisch begrenzt erscheinen. Je nachdem der Würfel beim Gleichheits- oder Kontrastphotometer Verwendung findet, wird die ebene Fläche *r s* von Prisma *A* verschieden behandelt. Im Folgenden wollen wir der Einfachheit wegen die Abrundung des Prismas *A* außer Acht lassen.

Zur richtigen Lagerung der Spiegel *e* und *f* dienen zwei hufeisenförmige ⊐ Metallbügel *C* und *C'*, Fig. 95. Der Bügel *C'* ist senkrecht auf die Metallplatte *y* und der Bügel *C* senkrecht auf *t* geschraubt. Jeder derselben wird mit der zugehörigen Metallplatte auf der Planscheibe der Drehbank montiert und am freien Ende parallel zur Plattenebene abgedreht, und zwar solange, bis die Entfernung zwischen der auf der Planscheibe liegenden Fläche der Platte und dem freien Ende des Bügels gleich ist dem halben Abstand (*d*) der Mittelpunkte des Schirmes *i k* und der Würfelfläche *r s*. Gehen die Symmetrieachsen der Bügel durch die Mitte des Abstandes *d*, und werden die Spiegel auf den Endflächen der Bügel befestigt, so sind damit auch die Bedingungen 5 und 6 erfüllt. In der Mitte der Bügel stehen die vertikalen Blenden *x*, welche so nahe an die Spiegel heranreichen, wie es der in der Fig. 96 punktiert gezeichnete Strahlengang erlaubt.

Es bleibt also nur noch das Okularrohr zu montieren. Dazu befestigt man an der unteren Fläche des Plattenpaares *y t* den Boden des Gehäuses, an diesem und an den Seitenflächen von *y t* dagegen die Seitenwände des Gehäuses. Von letzterem ist der Theil *W s* des Gehäuses parallel zur Kathetenfläche *a c*, Fig. 94, des Prismas *B* und unter 45° geneigt gegen die Wand *W*. Man braucht also nur das Okularrohr senkrecht auf *W s* so zu befestigen, dass seine Achse auf die Mitte des Würfels gerichtet ist, um die letzte Bedingung zu erfüllen.

Der Deckel des Gehäuses, sowie die beim Nichtgebrauch vor die Öffnungen desselben zu klappenden Platten *D* und *D'* schützen das Photometer vor Verstaubung.

Das derartig in sich justierte Gehäuse wird mittels der Zapfen von *y t* in die Pfannen des Metallbügels *E*, Fig. 95, drehbar gelagert. An dem Metallbügel sitzt ein Stahlrohr, dessen Achse durch die Schirmmitte geht und senkrecht zur Umdrehungsachse *u z* des Gehäuses steht. Dass das Gehäuse die beim Beobachten nothwendige Lage einnimmt,

bei der die Stahlrohrachse durch die Schirmebene geht, dafür sorgt ebenfalls der Mechaniker.

In den beiden um 180° verschiedenen Lagen wird nämlich das Gehäuse durch eine Feder *F* des Bügels *E*, Fig. 95, festgehalten, so zwar, dass dasselbe mittels leichten Druckes aus einer Lage in die andere gedreht werden kann.

Jetzt ist der Beobachter leicht im Stande, das Gehäuse auf der Photometerbank zu orientieren, d. h. die Verbindungslinie der Lichtquellen durch die Mitte des Schirmes zu legen und auf die Schirmebene senkrecht zu stellen. Dazu centriert man zwei Hefner-Lampen auf ihren Tellern (vgl. Fig. 95) und macht ihre Höhenabstände von der Bank einander gleich; es läuft dann die Verbindungslinie der Flammencentren zur Bankachse parallel. Jetzt klappt man die am Gehäuse befindlichen Schutz-Platten (*D* und *D'*) vor die Öffnung desselben. Diese Schutzplatten sind in der Mitte durchbohrt und mit Glasplatten bedeckt, auf denen je ein undurchsichtiges Kreuz eingeätzt ist.

Die Mittelpunkte der Kreuze liegen auf dem Loth durch die Schirmmitte. Von diesen Figuren wird von den beiden Flammen je ein Schattenbild auf jeder Schirmebene entworfen. Koincidieren die Mitten der Schattenbilder mit dem Mittelpunkte des Schirmes, so ist die gewünschte Justierung erreicht.

Es hat sich nun gezeigt, dass bei den meisten Photometern trotz der genauesten Justierung eine Einseitigkeit vorhanden ist. Die Einstellungen in den beiden Lagen des Gehäuses weichen also von einander ab, und zwar steigt die Differenz manchmal bis zu 3% und hat verschiedene Ursachen. Sie kann von der Ungleichseitigkeit der beiden Schirmseiten oder der Spiegel herrühren. Es kann aber auch sein, dass der optische Würfel die Verschiedenheit bedingt, insofern etwa an den totalreflektierenden Stellen *r*, Fig. 97, mehr Licht verloren geht als an den Stellen *l*, welche durchsichtig sind. Den Schirm kann man durch Umdrehen leicht auf seinen Einfluss untersuchen. Leider ist Gips nicht immer auf beiden Seiten gleichwertig herzustellen, wenn er auch außerordentlich diffus leuchtet und undurchsichtig erscheint; auch erleiden die Gipsflächen leicht Änderungen durch Verunreinigung. Es wurde daher versucht, mattgeschliffene Porzellanplatten zu verwenden.

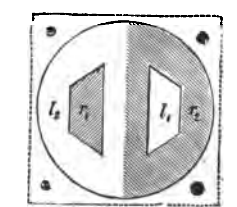


Fig. 97.

Die Versuche sind noch nicht abgeschlossen, ebensowenig diejenigen über den Verlust des Lichtes bei der Totalreflexion. Da die Spiegel stets aus einem Stücke geschnitten werden, also als gleichwertig an-

zusehen sind, so glaubten Schmidt & Haensch indirekt jene Frage lösen zu können. Prüft man nämlich verschiedene Photometer, bestimmt die Einseitigkeit des Schirmes, dann die des Photometers und setzt die beiden Spiegel als gleichwirkend voraus, so kommt die Differenz der gefundenen Einseitigkeiten einzig und allein auf Rechnung des Würfels. Wäre dies richtig, so hätte diese Differenz stets dasselbe Zeichen haben müssen. Das war bei etwa 30 untersuchten Photometern aber nicht der Fall. Es müssen also direkte Versuche mit dem Würfel angestellt werden, um seine Gleichseitigkeit bezw. die Größe seiner Einseitigkeit festzustellen.

In der Abbildung des Photometers, Fig. 95, ist am Bügel desselben ein Gradbogen *G* gezeichnet, welcher jede Neigung des Schirmes gegen die Achse der Photometerbank zu messen erlaubt. Die Klemmschraube *K* hält das Gehäuse in einer beliebig geneigten Lage fest. Mit Hilfe dieser Einrichtung [1]) kann man ohne Hilfsspiegel die Lichtstärke einer Lichtquelle unter einem beliebigen Ausstrahlungswinkel messen, indem man die letztere so aufstellt, dass sie aus der gewünschten Richtung Licht auf das Photometer wirft, und darauf dem Schirm eine solche Neigung gibt, dass ihm die Lichtstrahlen aus beiden zu vergleichenden Lichtquellen unter demselben Winkel treffen. Die photometrische Gleichheit wird durch Änderung der Entfernung der Vergleichslichtquelle vom Photometer hergestellt. Um solche Versuche zu ermöglichen, sind die Seitenwände und der Deckel des Photometergehäuses in entsprechender Weise ausgeschnitten, Fig. 95.

2. Verwertung des Kontrastprincips für technische Zwecke.

Statt auf das Verschwinden eines Feldes in einem anderen zu achten, beurtheilt man beim Kontrastprincip das gleichstarke Hervortreten zweier Felder gegen ihre Umgebung. Dazu wird die Berührungsebene *r s* der Prismen in die vier Felder 1, 2, 3 und 4, Fig. 98 eingetheilt, von denen 1 und 3 total reflektieren, dagegen 2 und 4 alles Licht hindurchlassen. Hervorgerufen wird der Kontrast durch Bedecken der halben Kathetenflächen *g b* und *m c* in Fig. 99 mit Glasplatten. Hierdurch werden die Felder 3 und 2 um gleichviel (etwa 8 %) gegen 1 und 4 geschwächt. Im Momente der Einstellung soll der Kontrast zwischen den Feldern 2 und 1 gleich demjenigen zwischen 3 und 4 sein, Fig. 98.



Fig. 98.

[1]) Diese schon früher am Bunsen-Rüdorff'schen Photometer verwandte Einrichtung ist für dieses Photometer von Dr. Wedding zuerst gebraucht worden.

Bei dieser früher angewandten Herstellungsart des Kontrastwürfels ist vor allem ein Umstand sehr störend; das ist die Trennungslinie *T T'*, Fig. 98 zwischen den Feldern 1 und 4 bezw. 2 und 3.

Eigentlich treten deren zwei auf, welche man aber leicht zur Deckung bringen kann. Sie rühren davon her, dass man beim Akkomodieren auf die Ebene *a b*, Fig. 99, durch Feld 2 hindurch die mittlere Kante der Glasplatte bei *g b* und an Feld 3 die gespiegelte Kante der Glasplatte bei *m c* sieht. Beeinflussen dieselben auch keineswegs die Genauigkeit der Einstellung auf gleichen Kontrast, so verwirren sie doch einen ungeübten, und stören einen geübten Beobachter. Ohne es zu wollen, vergleichen erstere oft genug die Helligkeit der benachbarten Felder 2 und 3 oder 1 und 4, anstatt auf die gleiche Helligkeitsdifferenz des Feldes 2 gegen 1 und des Feldes 3 gegen 4 einzustellen. Bei Einstellung auf gleiche Helligkeit zweier Felder vermindert aber ein dunkler oder heller Zwischenraum zwischen den Feldern die Einstellungsempfindlichkeit bedeutend. Gelingt es, dies störende Moment fortzuschaffen, so sind dadurch zwei Vortheile gewonnen. Erstens wird das Kontrastphänomen übersichtlicher und reiner, zweitens kann man gleichzeitig auf gleichen Kontrast und auf gleiche Helligkeit (Verschwinden) einstellen. Man erreicht dieses Ziel einfach durch eine andere Eintheilung des Gesichtsfeldes, d. h. indem man auf der Hypotenusenfläche des Prismas *A* ein von der früheren abweichende Figur einätzt. Diese Fläche werde wie folgt behandelt. Man beklebt die in Fig. 97 mit l_1 und l_2 bezeichneten Stellen mit geeignet geschnittenen dünnen Kupferblechen und nimmt an den schraffierten Stellen r_1 und r_2 mittels Sandstrahlgebläses [1]) die oberste Glasschicht fort. Dann presst man die Hypotenusenflächen beider Prismen streng aneinander, bis an allen polierten Stellen *l* der Würfel vollständig durchsichtig geworden ist. Dies gelingt immer, wenn vorher beide Prismenflächen auf einander abgeschliffen worden sind.

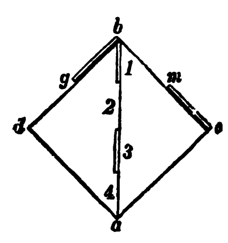


Fig. 99.

Bei der in Fig. 96 gezeichneten Lage des Würfels *A B* findet dann an den Feldern *r* Totalreflexion statt, sie erhalten ihr Licht von rechts; bei den Feldern *l* geht dagegen auffallendes Licht durch den Würfel hindurch, sie erhalten also ihr Licht von links.

Sind beide Lichtantheile gleich groß, so erscheint im Moment der Einstellung, das Sehfeld gleichmäßig hell. Bringen wir aber jetzt in

[1]) Photometrische Untersuchungen II. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1889, S. 461. Journal für Gasbel. und Wasservers. 1889, S. 772.

geeigneter Weise Glasplatten am Würfel an, so ändert das Sehfeld sein Aussehen; es treten bei der gleichen Stellung des Photometers die Felder r_1 und l_1 gleich stark gegen ihre Umgebung l_2 und r_2 hervor, wie dies in Figur 100 skizziert ist. Von einer Trennungslinie zwischen den Feldern l_2 und r_2 ist aber nichts zu sehen; es erscheint vielmehr die ganze Umgebung der geschwächten Felder (r_1 und l_1) wie eine zusammenhängende gleich hell leuchtende Fläche. Dabei sind die Helligkeiten von l_1 und r_1 gleich; ebenso diejenigen von l_2 und r_2. Je nach der Größe des Kontrastes unterscheiden sich beide Helligkeiten um verschieden große Beträge. Alles dies findet aber nur im Momente der Einstellung statt; dieselbe werde als Nulllage bezeichnet. In jeder anderen Lage des Photometers erscheinen die vier Felder in anderem Helligkeitsverhältnis zu einander. Nie aber sind die Kanten der den Kontrast erzeugenden Platten sichtbar. Die Erklärung hiefür ist leicht aus Fig. 101 zu ersehen. In ihr bedeuten wiederum die Stellen r die reflektierenden, l die durchsichtigen Theile der Berührungsfläche beider Prismen. Im Durchschnitt gezeichnet erhalten wir scheinbar sechs Felder weil hier zwei mittlere und zwei äußere Theile von r_2 und l_2 vorhanden sind; dazwischen liegen die Kontrastfelder r_1 und l_1. Es soll r_1 durch die Glasplatte $m\ c$ und l_1 durch die Platte $g\ b$ geschwächt werden, ohne dass r_2 und l_2 beeinflusst und ohne dass die Kanten der Platten gesehen werden. Dies ist der Fall, wenn die Platten so stehen, dass das Loth $m\,m' \perp a\,d$ durch die Mitte des nicht reflektierenden mittleren Feldes l_2 geht und das Loth $g\,g' \perp a\,c$ auf das undurchsichtige mittlere Feld r_2 trifft.

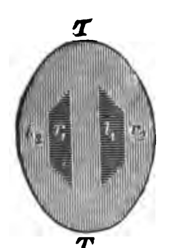


Fig. 100.

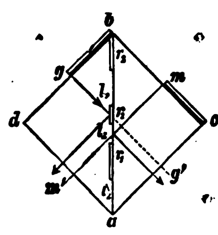


Fig. 101.

Da die Achse des Okularrohres senkrecht auf die Mitte der Fläche $a\,c$ steht, so laufen bei genügender Entfernung des Auges von der Lupe (etwa 11 *cm*) alle Sehlinien nahe senkrecht zur Fläche $a\,c$ des Würfels; hier interessiert uns nur die Mitte des Sehfeldes, und für diese gilt die aufgestellte Behauptung vollkommen. Solche von m und g ausgehende Strahlen $m\,m'$ und $g\,g'$ gelangen aber nicht ins Auge; es können demnach die Kanten der Glasplatten nicht gesehen werden; andererseits lassen letztere die Felder r_2 und l_2 in ihrer Helligkeit ungeändert, und schwächen nur r_1 bezw. l_1, wie oben verlangt wurde. Es muss demnach bei gleicher Stärke des von rechts und links kommenden Lichtes in der Nulllage die in Fig. 101 skizzierte Erscheinung auftreten, wo l_2 und r_2 ohne Trennungslinie in einander übergehen. Die Fig. 102 bis 104

zeigen, wie sich das Sehfeld ändert, wenn man aus der Nulllage, Fig. 101, mit dem Photometer nach rechts geht. Bei einem solchen Wandern wird jedenfalls r_2 heller, l_2 dunkler; bedeuten die Buchstaben gleichzeitig die Größe der Helligkeit, so wird also $r_2 > l_2$. Da nun stets $r_2 > r_1$ und zwar $r_2 - r_1 = l_2 - l_1 =$ Konst. (etwa 8%), so müssen sich die Helligkeiten von r_1 und l_2 nähern, die von r_2 und l_1 dagegen entfernen. Es geht also Fig. 101 über in Fig. 102, bis in Fig. 103 das Feld $r_1 = l_2$ und $r_2 = l_1$ 16% geworden ist. In dieser Stellung erscheint die linke Hälfte des Sehfeldes als eine ganz gleichmäßig leuchtende Fläche, während der Kontrast der beiden Felder der rechten Seite sich verdoppelt hat. Da bei weiterer Verschiebung des Photometers der Sinn der Helligkeitsänderung der gleiche und $r_2 - r_1$ stets konstant bleibt, so wird von jetzt an l_2 dunkler als r_1 und $r_2 - l_1 > 16\%$, Fig. 104. Noch ehe aber diese Stellung erreicht ist, kehrt man mit dem Photometer um und geht durch die Nulllage nach links. Bei dem Wandern nach links vertauschen sich nur die Rollen der rechten und linken Hälfte des Sehfeldes. Man erhält also in diesem Falle die Veränderungen des Sehfeldes, indem man die Fig. 102 bis 104 von der Rückseite des Papiers her anblickt und die Indices der Buchstaben vertauscht.


Fig. 102.


Fig. 103.


Fig. 104.

Je kleiner die Differenz $r_2 - r_1 = l_2 - l_1$ ist, um so näher rücken die beiden Stellungen des Photometers, bei denen man umkehrt, Fig. 103, und um so größer ist die Einstellungsempfindlichkeit; ist der Konstrast so klein geworden (etwa 2%), dass er nur mit Mühe wahrnehmbar wird, so nimmt freilich die Empfindlichkeit wieder ab.

Da bei der beschriebenen Herstellung des Kontrastwürfels die Trennungslinie zwischen l_2 und r_2, Fig. 100, vollständig verschwindet, so kann neben dem Kontrastprincip ebensogut die Einstellung auf gleiche Helligkeit dieser beiden Felder (l_2 und r_2), d. h. das Verschwinden der Grenzlinie zwischen l_2 und r_2, als photometrisches Kriterium benutzt werden. Dabei ist durch das gleichzeitige Auftreten beider Kriterien eine Entscheidung über deren relative Empfindlichkeit gestattet. Trotzdem der Kontrast infolge der einfachen Glasplatten ziemlich groß (etwa 8%) ist, überwiegt dennoch die Genauigkeit des Kontrastprincipes, zumal die meisten Beobachter mit diesem Princip mehr vertraut sind als mit dem Einstellen auf Verschwinden bezw. gleiche Helligkeit. Die bisher

gebrauchten Glasplatten sind an die betreffende Fläche des Würfels angelegt; sie können also ebenso wie der Würfel leicht von Staub befreit werden. Wollte man den Kontrast kleiner als 8% machen und damit die Genauigkeit der Messung steigern, so würde dies nach den Erfahrungen der Firma Schmidt & Haensch ein Nachtheil für die Praxis sein. Abgesehen davon, dass das Erkennen des Kontrastes und damit auch das Einstellen für ungeübte Beobachter sehr viel schwieriger ist, bedarf die Verwirklichung eines Kontrastes unter 8% eines Glasplattenapparates, welcher die Einfachheit und Unveränderlichkeit des Photometers vermindert. In der Abhandlung über das Kontrastphotometer[1]) ist eine Glasplattenvorrichtung beschrieben, mittels welcher man einfach durch Drehen eines Hebels jeden beliebigen brauchbaren Kontrast erzeugen kann. Einfachere Methoden zur Herstellung geringer Kontraste haben noch nicht zum Ziele geführt, werden aber angestrebt.

Ehe wir zur Beschreibung der Photometerbank übergehen, wollen wir noch kurz auf die bei Vergleichung verschieden gefärbten Lichtes auftretende Erscheinung hinweisen.

Da die Felder r nur Licht von rechts, die Felder l aber nur Licht von links erhalten, so tritt keine Kompensation (Ausgleichung) der zu vergleichenden Lichter ein, wie etwa beim Bunsen'schen Photometer. Vielmehr zeigen die Felder genau die Farben der beiden Lichter, ganz wie beim Photometer von L. Weber in der ursprünglichen Form (ohne den optischen Würfel). Da das Auge aber nicht im Stande ist, die Helligkeit verschieden gefärbter Felder zu vergleichen, so muss man für solche Felder nach neuen Kriterien suchen. Bei geringer Färbungsdifferenz, wie sie etwa bei Vergleichung einer Hefner-Lampe mit einer weiß brennenden Glühlampe vorkommt, bietet sich nun ein solches in diesem Photometer von selbst dar und zwar da, wo die gleiche Helligkeit zweier Felder beobachtet wird. Infolge der scharf zusammenstoßenden Felder r_2 und l_2, Fig. 102 bis 104, sollte man vermuthen, dass bei verschiedener Färbung der Lichtquellen auch im Moment der Gleichheit der von rechts und links kommenden Lichtantheile beide Felder scharf getrennt seien; leuchtet doch das eine röthlich, das andere bläulich. Dem ist jedoch nicht so. Vielmehr gehen bei einer gewissen Stellung des Photometers die verschieden gefärbten Felder r_2 und l_2 kontinuierlich in einander über, die Grenze wird unscharf trotz der Farbendifferenz; es bietet sich also auch hier etwas Ähnliches dar wie bei gleichgefärbten Lichtquellen, wo man auf Verschwinden der Grenze einstellt. Die Genauigkeit dieses Kri-

[1]) Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1889, S. 463. Journ. f. Gasb. und Wasservers., 1890, S. 658.

teriums haben viele Einstellungen ergeben. Der mittlere Fehler ist derselbe wie bei gleichgefärbten Lichtern. Dass dieses Kriterium bei geringer Färbungsdifferenz aber auch richtig zu sein scheint, geht aus der Übereinstimmung hervor, welche die Einstellungen verschiedener Beobachter zeigen.

Auch ein farbenblindes Auge stellt bei geringer Färbungsdifferenz der Felder r_2 und l_2 wie ein normales Auge ein. Weichen die Farben beider Felder sehr von einander ab, so tritt das genannte Kriterium nicht mehr auf; eine etwaige Einstellung ist außerdem verschieden für verschiedene Farbenempfindungen. Beim Kontrast wirkt die ungleiche Färbung der Felder r_1 und l_1 gegen l_2 und r_2 störend auf die Einstellung ein. Um daher in diesem Falle das Auftreten der Kontrasterscheinung zu vermeiden, sind die Glasplatten herauszunehmen. Hierdurch wird bewirkt, dass im Moment der Einstellung auch die Grenzen der Felder r_1 und l_1 verschwinden, so dass bei gleicher Färbung das ganze Sehfeld als gleichmäßig helle Ellipse erscheint.

3. Photometerbank.

In Fig. 105 erscheint die Photometerbank (durch unterlegte Klötze ist sie der besseren Anschauung wegen schief gestellt) wiedergegeben. Statt

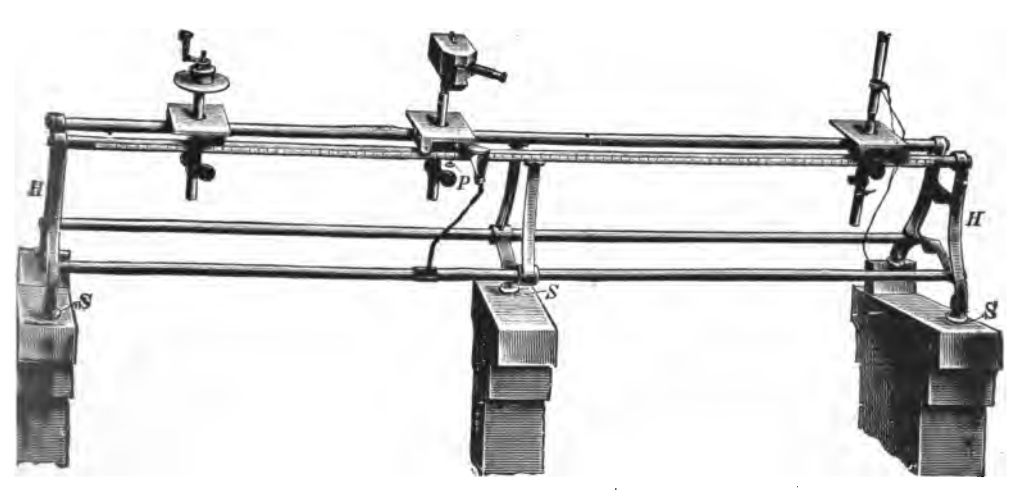


Fig. 105. Photometer nach Lummer-Brodhun.

der früher benutzten Stahlschienen werden Stahlrohre gebraucht, wie sie zu den Reifen der Zweiräder dienen. Die über 2 *m* langen Stahlrohre, deren Durchmesser etwa 3·5 *cm* und deren Abstand etwa 12·5 *cm* beträgt, sind auf dem aus Gusseisen bestehenden Gestell *H H* gelagert.

Wie die Figur zeigt, hat das Gestell in der Mitte auch noch eine Stütze, um die Durchbiegung der Rohre zu vermeiden.

Mittels der Stellschrauben S kann trotz der fünf Unterstützungspunkte die Bank sicher aufgestellt und leicht horizontiert werden. Auf den Stahlrohren rollen die Wagen, jeder vermittels vier Rollen; die dadurch erzielte Bewegung ist bei sicherer Führung eine außerordentlich leichte. Auch jetzt können die Wagen von einem Ende der Bank bis zum andern bewegt und an jeder Stelle mittels einer Schraube P fest-

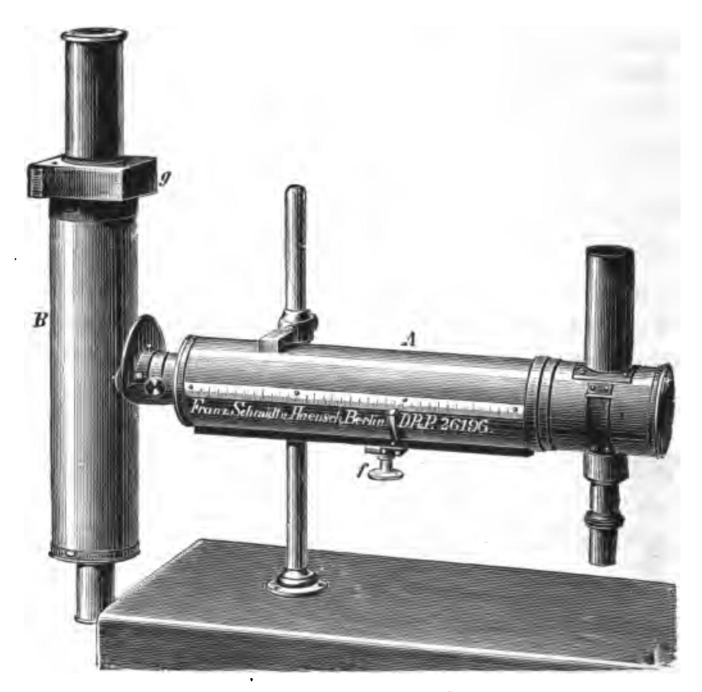


Fig. 106. Photometer nach Leonhard Weber.

geklemmt werden. Jeder Wagen trägt einen Nonius bezw. eine Marke, welche über einer auf der äußeren Seitenfläche der einen Schiene eingeätzten Millimeterskala gleitet. Auf Verlangen wird auch nur der mittlere Theil des Rohres in Millimeter, der übrige in Centimeter eingetheilt.

Die Wagen sind wie früher aus viereckigen Metallplatten, etwa von der Breite der Bank, hergestellt, in der Mitte vertikal durchbohrt und mit einer starken Hülse versehen; in dieser lässt sich durch Zahn und Trieb ein Stahlrohr auf- und abbewegen, welches zur Aufnahme von Photometergehäuse, Kerzenhalter und Lampentischchen dient. Diese Stahlrohre können in jeder Höhe festgeklemmt werden.

122. Photometer nach Leonhard Weber. [1]) Das in den Fig. 106 und 107 abgebildete Photometer besteht 1. aus dem festen Tubus *A*, 2. dem beweglichen, rechtwinkelig zu *A* drehbaren Tubus *B* und 3. der Säule nebst dem gleichzeitig als Fuß dienenden verschließbaren Aufbewahrungskasten. An dem festen Tubus *A* erkennt man einen stärkeren mittleren Theil, der in seiner ganzen Länge eine Millimeterskala trägt; hieran schließt sich rechts ein durch Bajonettverschluss angesetztes Gehäuse für eine Benzinkerze, links ein verjüngter Theil *i*, an welchem sich ein für manche Untersuchungen erforderlicher Gradbogen, Fig. 106, befindet. In dem Tubus kann ein Ring, in welchem sich eine Milchglasplatte *f* befindet, durch den mit Trieb versehenen Knopf *v*, Fig. 107, hin und her bewegt werden, und ein mit dem Ringe in Verbindung stehender Zeiger gibt an der Millimeterskala die Entfernung *r* der Milchglasplatte *f* von der Benzinkerze *b* an. Das Lampengehäuse besitzt rechts einen abnehmbaren Deckel. Gegen den Hohlraum des Tubus *A* ist dasselbe durch eine Glasscheibe abgeschlossen, welche die Gleichmässigkeit der Luftzufuhr zu der im Gehäuse brennenden Lampe sichert. Die Glasscheibe erscheint am Rande schwarz abgedeckt, um möglichst wenig diffuses Licht in den Tubus *A* eindringen zu lassen. Ferner befindet sich im Gehäuse ein kleiner fester Haken zur Regulierung der Flammenhöhe sowie eine auf einem Spiegel befestigte kleine Skala, an welcher mittelst Visierung durch einen gegenüberstehenden Spalt die Flammenhöhe abgelesen wird. Der Spalt ist durch eine gebogene Glimmerplatte geschlossen, über welche sich theils zum Schutze, theils zu völligem Lichtabschlusse eine Klappe schlagen lässt. Die inneren Wandungen vom Tubus *A* sind mit bestem Schwarz überzogen; auch ist der untere für die Fortbewegung des Ringes erforderliche Längsschlitz durch einen ge-

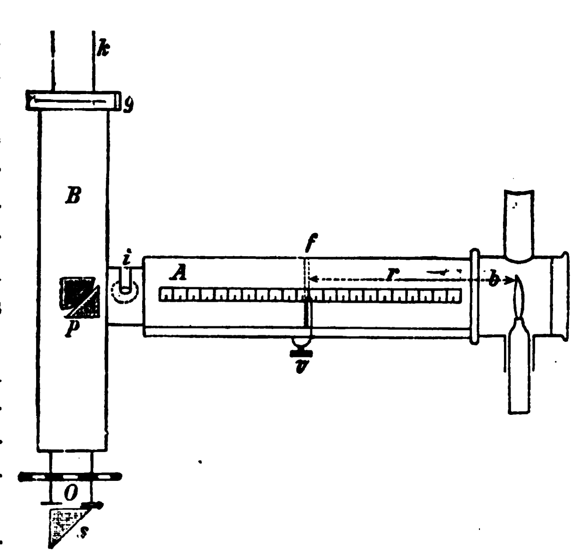


Fig. 107. Photometer nach Leonhard Weber.

[1]) Nach der Beschreibung und Anleitung zum Gebrauch dieses Photometers herausgegeben von der Firma Schmidt & Haensch in Berlin.

schwärzten Blechstreifen gedeckt, welcher sich durch einen Einschnitt in der Ringfassung schiebt und alles Licht von außen abhält. Der bewegliche oder drehbare Tubus *B* kann um reichlich 180° aus der in den Figuren vorhandenen Stellung in der sich das Okularende unten befindet, gedreht, und in jeder Stellung durch eine Bremsschraube, welche durch einen bei *i*, Figur 107, befindlichen Schlitz hindurchgeht, fixiert werden. Ein an *B* befindlicher Zeiger gibt dabei auf dem vorhin erwähnten Gradbogen die Elevation (Erhebung) des Tubus *B* an. In der Mitte des Tubus *B* und gegenüber der Mittelachse von *A* befindet sich ein Lummer-Brodhun'sches Prisma *p*. Dasselbe zerlegt das Gesichtsfeld in einen mittleren kreisförmigen und einen ringförmigen Theil. Ersterer erhält nur das Licht, welches in der Richtung des Tubus *B* eintritt, letzterer nur jenes Licht, welches aus *A* kommt. Ist in beiden Theilen gleiche Farbe und gleiche Intensität vorhanden, so verschwimmt die Grenze zwischen beiden und man sieht eine gleichförmige Kreisfläche ohne dunkleren oder helleren Fleck ganz ähnlich wie bei dem Bunsen'schen Fettfleckphotometer (§. 120). Die eigenartige Konstruktion des Instrumentes bewirkt es hierbei, dass, wie auch die Stellung des Tubus *B* ist, dennoch der Lichteintritt in das Prisma stets unter dem gleichen Winkel, nämlich senkrecht zu den Eintrittsflächen erfolgt. Das dem Okular entgegengesetzte Ende des Tubus *B* besteht aus einem viereckigen Blechkasten *g*, auf welchen noch ein Ablenkungsrohr *k* zum Abschlusse seitlichen Lichtes gesetzt werden kann. In den Kasten *g* können seitwärts eine oder mehrere Milchglasplatten geschoben werden. An dem Okulartheile befindet sich ein Schieber mit rother und grüner Glasplatte und einem offenenen Ausschnitt, so dass nach Belieben Einstellungen des Photometers in natürlichem (weißem), rothem oder grünen Lichte möglich sind. Außerdem hat das Okularende noch ein vorschlagbares Reflexionsprisma *s*, welches bei Messungen von senkrecht oder schräg herabfallendem Licht eine größere Bequemlichkeit erlaubt. In dem Okularauszug sitzt ein Fernrohr zur scharfen Einstellung auf das Prisma. Der als Stativ dienende Kasten des Instrumentes ist derart eingerichtet, dass sämmtliche Theile des Apparates in demselben fest eingelegt werden können. Außerdem enthält derselbe eine Flasche für Benzin, ein Kännchen, das Stativ nebst zugehöriger weißer Tafel, sowie eine Anzahl numerierter Milchglasplatten. Im Falle völliger Farbengleichheit ist es grundsätzlich gleichgiltig, ob man die genaue Einstellung ohne Vorschaltung von farbigen Gläsern oder mit solchen bewirkt, da dieselbe im weißen, rothen oder grünen Lichte genau dieselbe sein muss. Man wird jedoch ohne farbiges Glas die größere Empfindlichkeit der Einstellung erreichen. Es ist hierbei zweckmässig, den Knopf *f*, Fig. 107, hin und her zu drehen,

bis die Mitte abwechselnd hell und dunkel wird und man schließlich die richtige Einstellung zu haben glaubt, was nach einiger Übung bald bis auf einige Millimeter gelingt.

Die Messungen zerfallen in drei Kategorien:

1. Messungen der Intensität von punktförmigen Lichtquellen (Flammen etc.) von gleicher Farbe mit dem Benzinlicht.

2. Messungen des diffusen (zerstreuten) Lichtes von gleicher Farbe mit dem Benzinlicht.

3. Messungen, wenn die zu untersuchenden Lichtarten ad 1. und 2. mit der Benzinkerze ungleiche Farbe haben.

Die Ausführung dieser Messungen und die Bestimmung der Konstanten betreffend sei in erster Linie auf die oben citierte Beschreibung der Firma Schmidt & Haensch in Berlin verwiesen. Bezüglich der Messung des diffusen Lichtes mit der weißen Tafel bei großen Helligkeiten sei hervorgehoben, dass es dann nicht gestattet ist, das Photometer über eine gewisse Grenze von der Tafel zu entfernen. Diese Grenze wird dadurch bestimmt, dass der in Fig. 108 punktiert gezeichnete Strahlenkonus noch ganz auf die Tafel T fallen muss. Ferner ist es vortheilhaft, den Neigungswinkel des Tubus B gegen die Tafel nicht zu klein zu wählen, also den Tubus möglichst senkrecht gegen die Tafel zu richten. Außerdem bleibt bei der Aufstellung des Photometers zu berücksichtigen, dass der Apparat selbst oder auch der Beobachter weder erheblichen Schatten noch Licht auf die Tafel werfe.

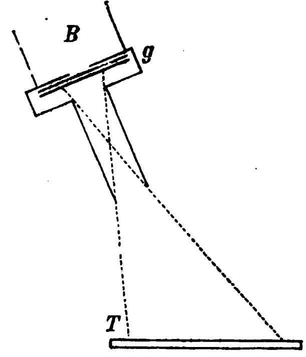


Fig. 108. Grenze der Entfernung zwischen Photometer und Schirm.

Um die Konstante C' für diffuses Licht zu bestimmen, stellt man Apparat, Schirm und Normalkerze nach dem Grundrissschema Fig. 109 auf. Die Linie von der Kerze N nach dem in der Mitte des Schirmes markierten Punkte muss genau senkrecht zur Fläche des Schirmes stehen. Ferner muss man denselben Punkt durch den drehbaren Tubus des Photometers sehen; die Entfernung R ist genau abzumessen. Dage-

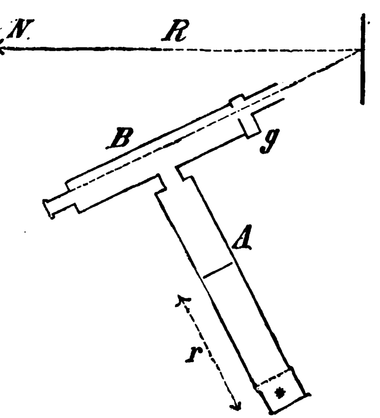


Fig. 109. Bestimmung der Konstante für diffuses Licht.

gen ist es unwesentlich, wie weit das Photometer vom Schirm entfernt steht und unter welchem Winkel die Sehrichtung des drehbaren Tubus gegen die Fläche geneigt ist. Nur suche man, soweit als möglich, allzu schräge Incidenzen (Einfallswinkel), namentlich bei Anwendung von Karton, welcher nicht völlig matt ist, zu vermeiden. Nach erfolgter Aufstellung und Justierung (Genaumachung) der Kerze stellt man das Photometer durch Drehung an dem Knopf v in gewöhnlicher Weise ein und liest die Entfernung r ab. Alsdann ist $C' = \frac{r^2}{R^2}$, worin r und R in Centimetern auszudrücken sind.

123. Weitere Photometer: Schattenphotometer nach Lambert (Rumford), Dispersionsphotometer nach Ayrton, Winkelphotometer nach Elster, Kompensationsphotometer nach Krüß, Mischungsphotometer nach Große, die Photometer nach Rousseau, Foucault, Talbot, Wild, Bouguer, Ritchie u. s. w.

X. Kapitel.

Mechanische Messungen.

124. Die Drahtlehre (Mikrometerlehre), Fig. 110, wird zum Messen der Drahtdurchmesser verwendet. Eine ganze Umdrehung der Schraube S ändert die Entfernung zwischen a und b um 1 *mm*. Die

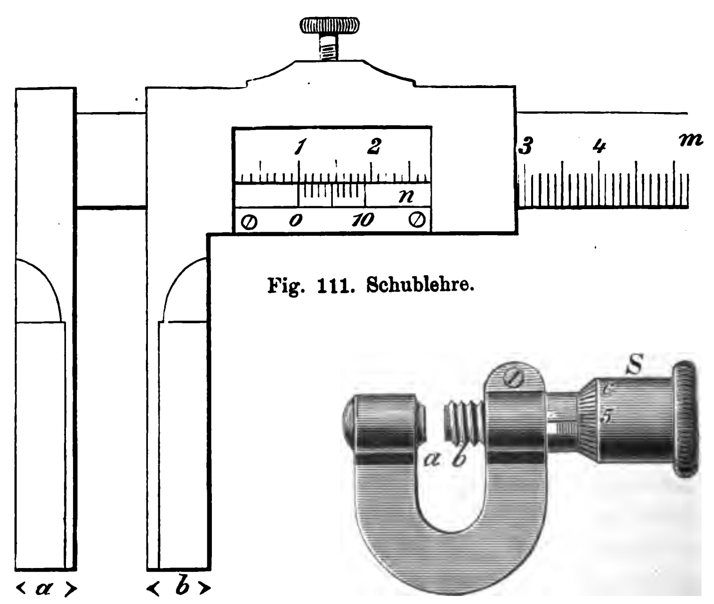


Fig. 111. Schublehre.

Fig. 110. Drahtlehre.

Millimeter werden auf der horizontalen, die Zehntelmillimeter (Decimalen) auf der Kreistheilung bei c abgelesen.

125. Die Schublehre, Fig. 111, ermöglicht die Messung der Außen- und Innendurchmesser von Drähten, Bohrungen u. s. w. Die

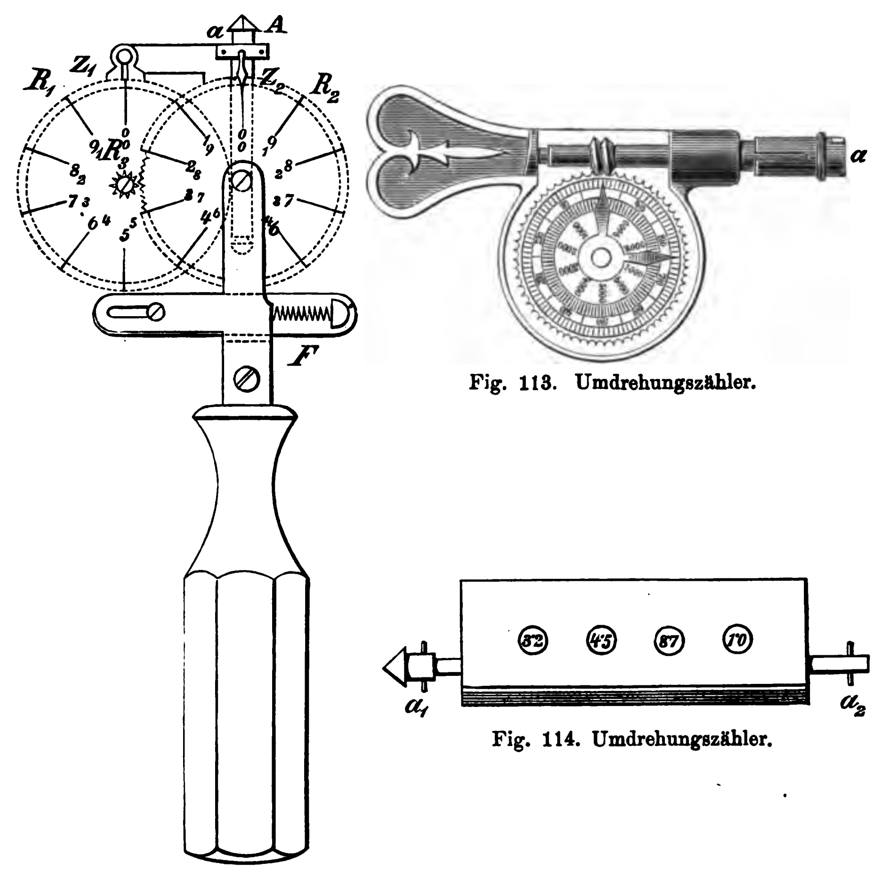


Fig. 112. Umdrehungszähler.

Fig. 113. Umdrehungszähler.

Fig. 114. Umdrehungszähler.

Millimeter gibt bei Außendurchmessern der Hauptmaßstab m, die Zehntelmillimeter derjenige Theilstrich des Nonius n, welcher mit einem Theilstriche des Hauptmaßstabes übereinstimmt, an. Bei Innendurchmessern sind die Längen a und b zur Ablesung zu addieren.

126. Umdrehungszähler, Figuren 112 bis 114, dienen zum Messen der Umdrehungszahlen rotierender Wellen. Die genannten 3 Zähler werden durch Drücken der Enden a (in Fig. 114 der Enden a_1 oder

a_2) gegen den Körnerpunkt der Welle in Thätigkeit gesetzt. Eine Uhr bestimmt die Zeit, binnen welcher die Umdrehungen erfolgen.

Die mittelst des Zählers, Fig. 112, zu messende Umdrehungszahl sei gleich 1000. Das Zahnrad R_1 macht eine Umdrehung bei 100 Umdrehungen der Welle A, folglich beträgt die Anzahl der Umdrehungen desselben bei 1000 Umdrehungen der Welle A (sowie der Welle der zu messenden Maschine) $1000 : 100 = 10$. Mit dem Rade R_1 ist das Rad R_2 (mit 10 Zähnen), welches in das Rad R_3 (mit 100 Zähnen) eingreift, fest verbunden. Macht das Rad R_1 (also auch R_3) 10 Umdrehungen, so dreht sich das Rad R_2 einmal herum. Bei der obigen Annahme (1000 Maschinenumdrehungen) macht demnach das Rad R_1 eine Umdrehung. Daraus folgt, dass die Angaben des Rades R_2 mit 1000 zu multiplicieren sind. Werden die beiden Theilungen vor dem Gebrauche des Zählers durch das Drücken der Feder F und Drehen der Räder R_1 und R_2 so eingestellt, dass die Zeiger Z_1 und Z_2 auf 0 einstehen, so geben die Theilstriche des Rades R_1 die Zehner an. Je nachdem die Maschinen Rechts- oder Linkslauf haben, sind die Ablesungen an der inneren oder äußeren concentrischen Zifferreihe vorzunehmen.

127. Umdrehungszähler, Fig. 113. Einer Umdrehung der Welle entspricht ein Theilstrich der größeren, 100 Umdrehungen der Welle ein Theilstrich der kleineren Theilung.

128. Der Umdrehungszähler, Fig. 114, wird mit a_1 oder a_2 an die Maschine angelegt, je nachdem dieselbe Rechts- oder Linkslauf hat.

Die Zeitdauer der Messungen bei den gewöhnlichen Umdrehungszählern beträgt zumeist 1 Minute (Umdrehungen in der Minute) oder $^1/_2$ Minute; in letzterem Falle ist die Ablesung mit 2 zu multiplicieren, wenn die Umdrehungszahl in 1 Minute gemessen werden soll.

129. Das Patent-Tachometer nach Buss, Sombart & Co. in Magdeburg- Friedrichstadt ist ein Instrument, welches im Gegensatze zu den letzten Umdrehungszählern die Umdrehungen von Wellen in der Minute in jedem Augenblicke, ohne Zuhilfenahme einer Uhr, angibt.

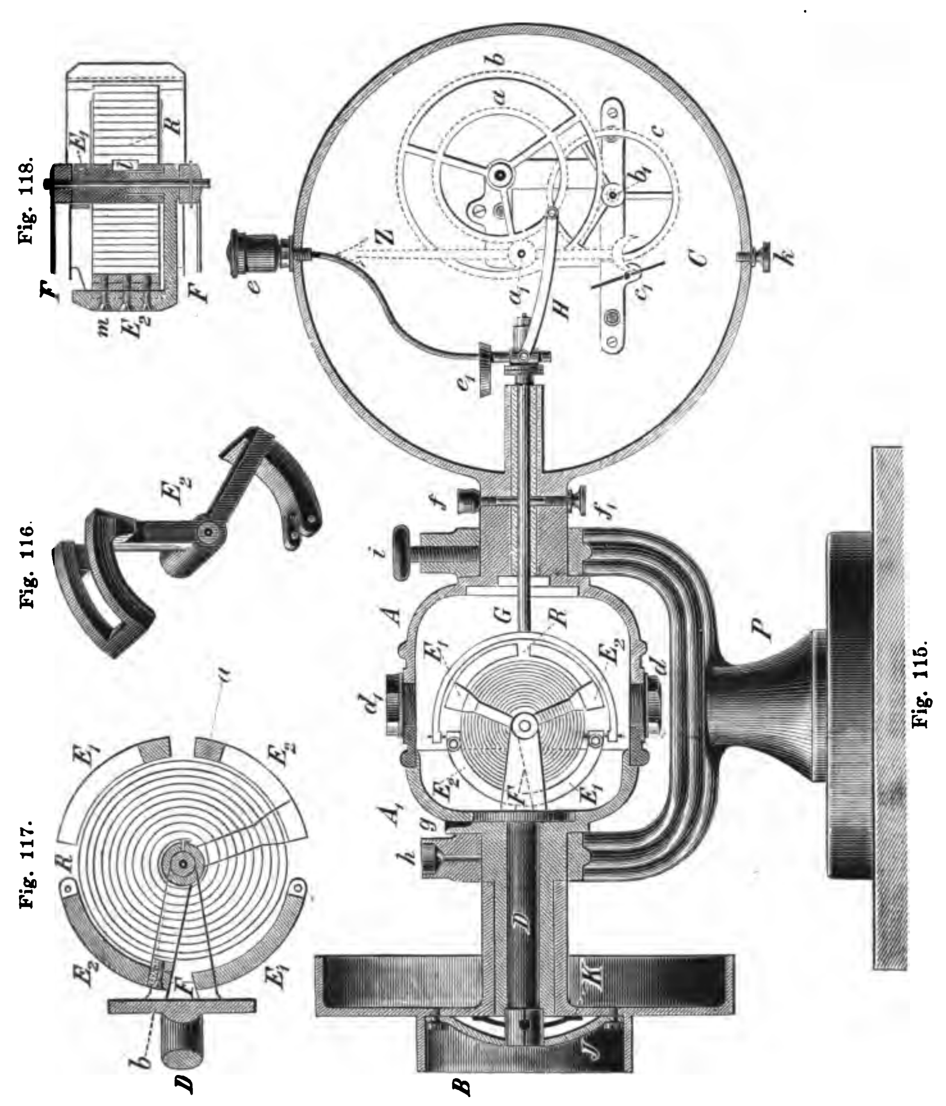
Die genannte Firma baut:

a) Das Tachometer für Riemenübertragung.[1]) In ihrer Aufeinanderfolge sind die wichtigsten Bestandtheile dieses in den Figuren

---

[1]) Buss, Sombart & Co, D. R-P. Nr. 1035 vom 1. November 1877; Vgl. M. Schröter in Offic. Bericht über die Münchener Elektricitätsausstellung, 1882, II. Theil, Seite 7.

115 bis 118 dargestellten Tachometers die folgenden: Die Welle *D* mit dem Pendelträger *F* und den Pendeln E_1 und E_2. Das Pen-



115 bis 118. Patent-Tachometer nach Buss, Sombart & Co.

del E_2 zeigt Fig. 116 perspektivisch, in Fig. 117 ist die Spiralfeder *R*, Fig. 115, abgebildet. Die Fig. 117 zeigt die Windungen der Spiralfeder *R* im Schnitte, Fig. 118 die Befestigung der Enden derselben an die Nabe des Pendels E_1 und an den Umfang von E_2 (bei *m*). Die Ueber-

tragung der Geschwindigkeitsänderungen der Pendel auf den Zeiger Z besorgen die Welle G, die gabelförmige Schiene H und die Zahnräder a und a_1. Der Zeiger Z gibt auf einem Zifferblatte die Anzahl der Umdrehungen der Welle in der Minute an; derselbe wird durch eine Spiralfeder in der Ruhe auf Null eingestellt und durch einen, von Zahn-

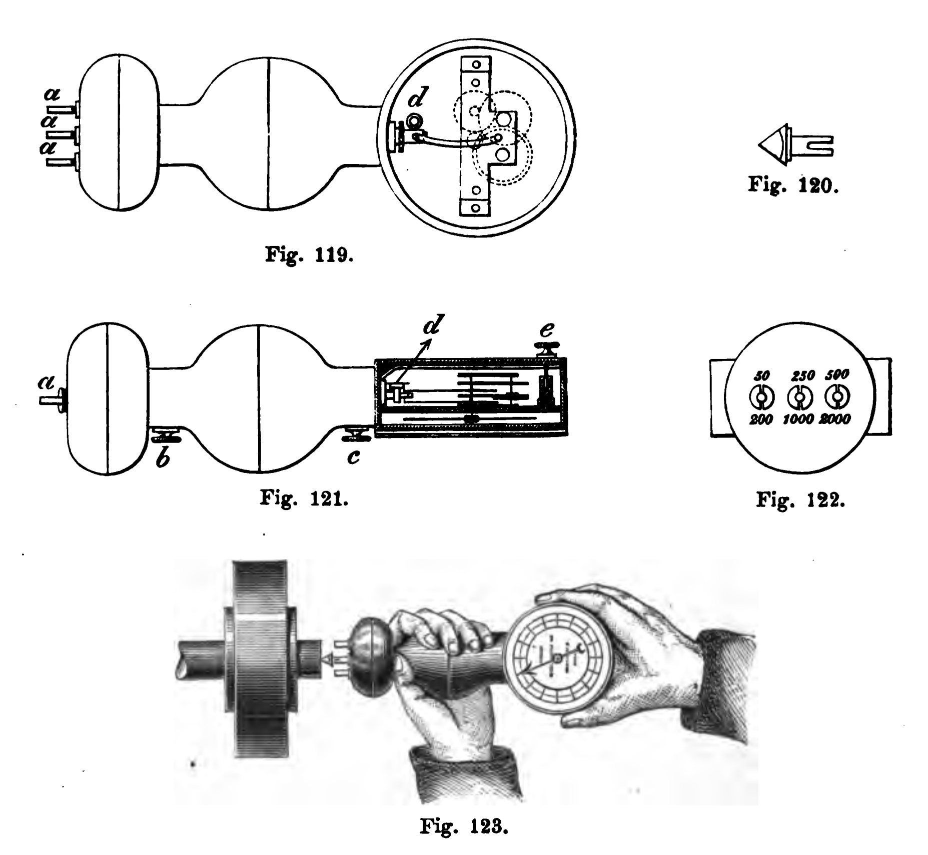


Fig. 119. Fig. 120. Fig. 121. Fig. 122. Fig. 123.

Fig. 119 bis 123. Patent-Tachometer nach Buss, Sombart & Co.

rädern angetriebenen Windflügel vor plötzlichen Stößen geschützt. Zur bequemen Ablesung kann man das Gehäuse C durch Lösen der Schraube i drehen. Die Stufenscheibe B (Verhältnis der Durchmesser 1 : 2) ist mit der Welle D gekuppelt. Die Feder K soll seitliche Verschiebungen der Riemenscheibe verhindern.

Das Schmieren des Tachometers erfolgt bei h und mittelst des Oelers c. Von c gelangt das Oel in die Mulde c_1, welche mit dem Schieber G fest verbunden ist.

b) Das Handtachometer, Figuren 119 bis 123, hat im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie das letzte Instrument. Für die Behandlung und Benützung desselben gilt die folgende Vorschrift:

1. Die Behandlung.

Kein Theil des Tachometers, mit Ausnahme des Deckels, welcher die Rückseite des Zifferblattgehäuses verschließt, darf geöffnet werden. Diesen letzteren kann man durch das Lösen der Schraube *e*, Fig. 121, abheben. Alle zu schmierenden Theile dürfen stets nur feinstes, nicht harzendes Oel enthalten. Für jeden ersten Gebrauch des Tachometers an einem Tage ist dasselbe an den durch die Schrauben *b* und *c* verschlossenen Schmierlöchern zu schmieren. Bei häufiger Benützung an demselben Tage muss dies mehrmals und zwar $^1/_2$- bis 1-stündlich wiederholt werden.

Das im Innern des Zifferblattgehäuses befindliche kleine Schmiergefäß *d* ist, nachdem sein mit Bajonettverschluss versehener Deckel behutsam abgenommen wurde, mit feinstem Oele zu füllen. Die kleinen Getriebe des Uhrwerkes sind ganz wenig zu ölen.

2. Die Benützung.

An dem einen Ende des Tachometers befinden sich drei Getriebe *a* für diejenigen Geschwindigkeiten, welche dabei eingraviert sind (50—200, 250—1000, 500—2000 Umdrehungen).[1]) Bei Benützung des Instrumentes ist der Dreispitz, Fig. 120, auf dasjenige Getriebe zu stecken, innerhalb dessen Umdrehungszahlen die muthmaßliche Geschwindigkeit der Maschine fällt, deren Umdrehungen gemessen werden sollen. Beim Gebrauche des Instrumentes verwende man stets beide Hände in der aus der Abbildung, Fig. 123, ersichtlichen Weise.

c) Der Patenttachograph ist ein Tachometer mit einer Registriervorrichtung (Vorrichtung zum selbstthätigen Wiedergeben der während der Thätigkeit des Instrumentes herrschenden Umdrehungszahlen). Die Prüfung der Angaben der Patenttachometer kann mit einem gewöhnlichen Umdrehungszähler an einer Welle mit gleichbleibenden Umdrehungszahlen vorgenommen werden.

Vielfache Verwendung finden auch der elektrische Tourenzähler nach Horn und die Tourenzähler nach May und Schaeffer & Budenberg.

---

[1]) Die Tourenzahlen von 200 bis 250 zeigt diese Theilung nicht an.

130. Der Prony'sche Zaum, Fig. 124, auch Bremsdynamometer genannt, misst die Arbeit einer Kraftmaschine (die von einem Motor erzeugte mechanische Arbeit), ohne dass dieselbe dabei eine andere Maschine (Arbeitsmaschine) antreibt. Dieses Dynamometer besteht aus den Bremsklötzen (Bremsbacken) B_1 und B_2, welche durch die Schrauben S_1 und S_2 an die Riemenscheibe (beziehungsweise Welle) S der zu prüfenden Maschine angelegt werden und den Bremshebeln H und H. An dem Ende des einen dieser Bremshebel ist eine Wagschale P, an dem Ende des anderen ein Gewicht O zum Ausbalancieren der Hebel H und H angebracht. Der letztere Hebel kann, jedoch nur auf Kosten der Einfachheit der Rechnung, wegfallen. Besitzt der Zaum nur einen

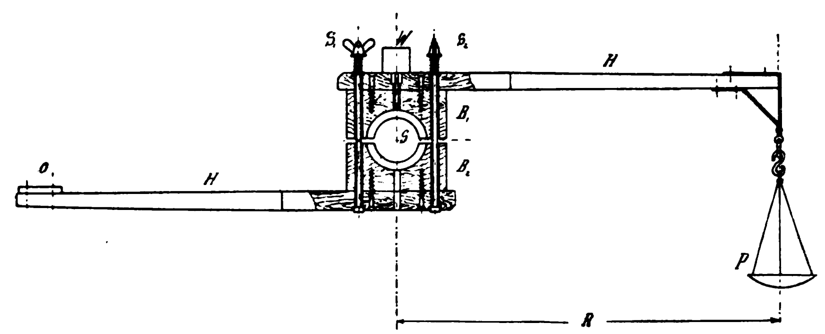


Fig. 124. Prony'scher Zaum.

Hebel H, dann müssen Böcke angewendet werden, welche das Mitnehmen des Zaumes von der Welle der Maschine, also das Herumschlagen des Hebels verhindern. Durch die Reibung der Riemenscheibe an den Backen wird sämmtliche Arbeit der Kraftmaschine verbraucht. Den Backen muss zur Vermeidung von zu starker Erwärmung (Verkohlung) bei W Wasser (am besten Seifenwasser) zugeführt werden.

Behufs Aufstellung der Formel für den Prony'schen Zaum führen wir die folgenden Bezeichnungen ein: n = Touren in der Minute, P = Umfangskraft in *kg* am Radius R in *m*, v = Umfangsgeschwindigkeit in *m*. Die Reibung zwischen Scheibe S und Bremsbacken B_1 und B_2 tilgt eine gewisse Arbeit z. B. N Pferdekräfte oder 75 N *mkg*. (I. B., S. 90, §. 92). Infolge der Reibung wird der Zaum mitgenommen. Man kann durch die richtige Wahl der Umdrehungsrichtung des Motors die am Hebel wirkende Kraft in einer solchen Richtung angreifen lassen, dass man in der Lage ist, sie durch Gewichte P am Radius R auszubalancieren. In der Mechanik versteht man unter Arbeit das Produkt aus Kraft mal Weg (I. B., S. 90). P ist eine Kraft, v ein Weg

in der Zeiteinheit. $P\,v$ stellt demnach die durch die Kraft P am Radius R bei der Geschwindigkeit v geleistete Arbeit dar. Soll Gleichgewicht am Zaum eintreten, dann müssen sich die Reibungsarbeit 75 N und die Arbeit $P\,v$ gegenseitig aufheben, so dass die Hebel H und H horizontal stehen, d. h.:

$$P\,v = 75\ N.$$

Die Umfangsgeschwindigkeit v am Hebel R ist aber gleich dem Wege, welchen ein Punkt in der Entfernung R vom Mittelpunkte der Scheibe in der Sekunde zurückgelegt (I. B., S. 86). Bei einer Umdrehung in der Minute hat dieser Punkt den Weg $2R\pi$, bei n Umdrehungen in der Minute den Weg $2\,R\pi n$ und in der Sekunde den Weg $\frac{2\,R\pi n}{60}$ zurückgelegt, d. h. $v = \frac{2\,R\pi n}{60}$. Setzen wir diesen Wert in die letzte Gleichung ein, so erhalten wir

$$P \cdot \frac{2\,R\pi n}{60 \cdot 75} = N \text{ oder}$$

$$P R = \frac{30 \cdot 75}{\pi} \cdot \frac{N}{n} \backsim 716{\cdot}2\ \frac{N}{n} \text{ oder}$$

$$N = \frac{PRn}{716} \text{ (Allgemeine Formel).}$$

Hat nun der Radius R den Wert $716{\cdot}2\ mm = 0{\cdot}7162\ m$, so folgt aus der letzten Gleichung

$$P \cdot 0{\cdot}7162 = 716{\cdot}2\ \frac{N}{n} \text{ oder}$$

$$P = \frac{716{\cdot}2}{0.7162} \cdot \frac{N}{n} = 1000\ \frac{N}{n} \text{ und}$$

$$N = \frac{Pn}{1000}, \text{ d. h.:}$$

Bei einem Pronyschem Zaum, dessen $R = 716{\cdot}2\ mm$ sind die gebrauchten Pferdekräfte gleich dem Produkte aus Umfangskraft P in kg in Touren n in der Minute getheilt durch 1000.

Beispiel: $P = 1\ kg$, $n = 1000$ Touren in der Minute bei $R = 716{\cdot}2\ mm$; $N = ?$

$$N = \frac{Pn}{1000} = \frac{1 \cdot 1000}{1000} = 1 \text{ Pferdekraft.}$$

131. Der Arbeitsmesser (das Dynamometer) nach F. von Hefner-Alteneck, Fig. 125 und 126, dient zum Messen des Kraftverbrauches und wird direkt in den Riemen, welcher die Kraft mit der Arbeitsmaschine verbindet, eingeschaltet. Das Dynamometer zählt 6 Rollen 1, 2, 3, 4, 5 und 6, Fig. 125, welche an einem Ramen befestigt sind; eine siebente Rolle 7 trägt einen um die Achse der Rolle drehbaren Hebel. Ein Gegengewicht gleicht die Gewichte der Rolle 7 und des Hebels, sowie eine, dem Ruhezustande entsprechende, mäßige Spannung einer Feder aus, so dass der Zeiger auf der Marke einsteht und die Rolle 7 ihre Mittelstellung einnimmt. Eine Flüssigkeits- (Glycerin-) Bremse und die Feder dienen zur Dämpfung der Schwankungen. Ist der obere Theil des Riemens der treibende, so wird durch die Spannungsdifferenz zwischen dem treibenden und leerlaufenden Theile des Riemens die Rolle 7 herabgedrückt und durch das Spannen der Feder der Zeiger auf die Marke eingestellt. Die Skala, Fig. 125 gibt den Druck in Kilogramm an (gewöhnlich ist 1 *mm* Verschiebung an der Skala gleich 1 *kg*).

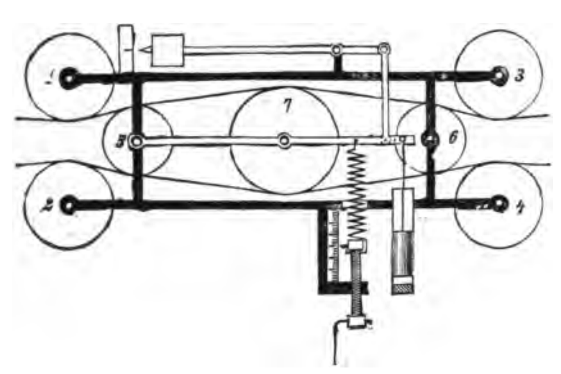
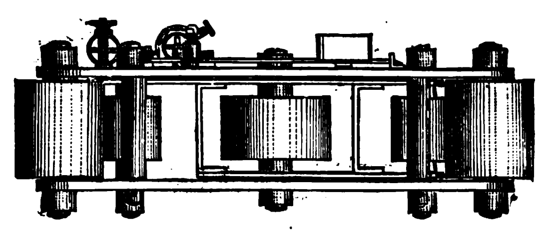


Fig. 125. Arbeitsmesser nach von Hefner-Alteneck.


Fig. 126. Arbeitsmesser nach von Hefner-Alteneck.

II. Abschnitt.

Elektrische Maschinen und Motoren.

I. Kapitel.

Einleitung und Eintheilung.

132. Im Herbste des Jahres 1831 entdeckte Faraday nach einer Reihe genialer Versuche und Folgerungen, dass durch Rotation eines geschlossenen Leiters in einem magnetischen Felde (z. B. zwischen zwei Magnetpolen) oder durch Aenderungen in der Stärke des Feldes ein Strom erzeugt wird, und erfand durch den Apparat, welchen er bei seinen Versuchen verwendete und „eine magnet-elektrische Maschine" nannte, die erste elektrische Maschine.

Wilde aus Manchester erzeugte (1863) mit seiner magnet-elektrischen Maschine mit separat erregten Elektromagneten zuerst starke elektrische Ströme in verhältnismäßig kleinen Maschinen, indem er den Stahlmagnet der magnet-elektrischen Maschine durch einen Elektromagnet ersetzte und letzteren durch eine magnet-elektrische Maschine erregte.

In der Sitzung vom 17. Jänner 1867 überreichte Magnus der königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin die berühmte Abhandlung nach Werner von Siemens: „Über die Umwandlungskraft von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne Anwendung permanenter Magnete." [1])

Diese Abhandlung enthielt die Mittheilung von der Erfindung der dynamoelektrischen Maschine, in welcher anstatt des Stahlmagnetes der magnetelektrischen Maschine ein selbsterregender Elektromagnet verwendet wird; erst diese Maschine war zur Erzeugung der Elektricität im Großen geeignet.

Die elektrischen Maschinen sind:

---

[1]) Wissenschaftliche und technische Arbeiten von Werner Siemens, 1891, I. Band, Seite 208 ff.

1. Stromerzeuger (Primäre Maschinen oder Generatoren), wenn sie von einem Motor (Dampfmaschine, Wasser- oder Gasmotor u. s. w.) angetrieben werden.

2. Triebmaschinen (Kraftgeber, Stromkraftmaschinen, Elektromotoren, Sekundäre Maschinen oder Receptoren), wenn sie von einer anderen elektrischen Maschine Strom erhalten.

Die elektrischen Maschinen[1]) werden

a) in magnetelektrische Maschinen mit Dauermagneten und mit separat erregten Magneten, sowie

b) in dynamoelektrische Maschinen eingetheilt.

Die magnetelektrischen Maschinen wurden bereits früher (I. B., S. 66) besprochen.

II. Kapitel.

Wesentliche Bestandtheile.

133. Eintheilung. Die wesentlichen Bestandtheile der dynamoelektrischen Maschinen und Motoren sind:

1. Anker, Induktor oder Armatur.

2. Kollektor, Stromabnehmer, Stromsammler, Stromwender, Kommutator, Schleifringe.

3. Bürstenapparat (Bürsten, Bürstenhalter, Bürstenstift und Bürstenhebel).

4. Magnete, Feldmagnete oder Elektromagnete.

134. Der Anker besteht zumeist aus einem mit isolierten Kupferdrähten bewickelten Eisenkerne.

Der Eisenkern muss aus von einander wohl isolierten, weichsten Eisenblechen von 0·5 *mm* Dicke zusammengesetzt sein. Die Isolation bildet in der Regel dünnes Papier (1 Bogen = 0·04 *mm* dick). Seltener finden andere Isolationsmittel (z. B. schellackiertes Papier, Firnis, Zinkweiß, Asbestpapier, Glimmer u. s. w.) Verwendung. Kerne aus gefirnissten oder umsponnenen oder umpressten Eisendrähten sind nicht zu empfehlen. In einem massiven Eisenkerne entstehen, da derselbe ein Leiter der Elektricität ist, wenn derselbe in einem magnetischen Felde rotiert, sowie in den Kupferwindungen des Ankers elektrische Ströme (Wirbel- oder Foucault'sche Ströme).

---

[1]) Die pyromagnetischen Maschinen, welche durch die Veränderlichkeit der Leitungsfähigkeit des Eisens mit der Temperatur Induktionsströme erzeugen, sollen nicht besprochen werden.

Diese Ströme verlaufen in den Längsquerschnitten des Eisenkernes ähnlich wie die in den Kupferwindungen des Ankers inducierten Ströme und erfordern, sowie letztere Ströme eine, ihrer Stärke entsprechende, Kraft. Sie erwärmen den Eisenkern so stark, dass ein Dauerbetrieb ausgeschlossen erscheint und bedingen sehr hohe Verluste an Kraft.

Die Ankerkerne werden entweder direkt auf die Welle der Maschine aufgebaut (Siemenstrommeln) oder von einem Kreuze, welches auf die Welle des Ankers aufgekeilt ist, getragen (Siemenstrommeln und Grammeringe).

Man unterscheidet Grammeringe, Flachringe, Siemenstrommeln, Scheibenanker, Anker mit offener Wickelung und Polanker.

Die wichtigsten Ankerkonstruktionen sind:

1. Grammeringe. Der Grammering ist ein ringförmiger Elektromagnet (I. B., S. 58, Fig. 59); er besteht demnach aus einem hohlen, mit isolierten Windungen umwickelten Eisenkerne (Eisenringe).

2. Siemenstrommel (F. v. Hefner-Alteneck): Diese Ankerform geht aus dem an seiner Oberfläche nur zumtheile bewickelten Doppelt-T-Anker nach Werner von Siemens (I. B., S. 68) dadurch hervor, dass die ganze Oberfläche des Eisenkernes bewickelt wird. Bei der Siemenstrommel ist demnach die Wickelung auf der ganzen Oberfläche des Eisenkernes gleichmäßig vertheilt, so dass der ganze Eisenkern als von der Wickelung eingehüllt erscheint.

Während der Grammering hohl sein muss, da seine Wickelung auch durch den Hohlraum führt, kann die Siemenstrommel massiv sein, weil ihre Wickelung bloß um den Eisenkern herumgeführt ist.

Auf dem Umfange des Eisenkernes können entweder eine Drahtlage oder mehrere Drahtlagen übereinander angebracht sein.

In den früheren Figuren 84 bis 91 bestand der Anker aus einer einzigen Windung, von deren Enden (Kollektortheilen) die Ströme entweder direkt durch die Bürsten oder durch zwei mit den Enden fest verbundene Schleifringe abgenommen wurden. Sind nun mehrere Windungen vorhanden, so werden diese hintereinander geschaltet und man kann

a) den Strom von zwei gegenüberliegenden Stellen zu zwei Kollektortheilen führen oder

b) die Ankerwickelung in eine gerade Anzahl gleicher Windungszahlen (Abtheilungen) theilen, von welchen aus Anschlüsse an die Kollektortheile, auf denen die Bürsten schleifen, erfolgen.

135. Die Ringe nach Pacinotti und Gramme. Die ersten Anker mit einer gleichmäßigen ununterbrochenen Wickelung auf der ganzen Ober-

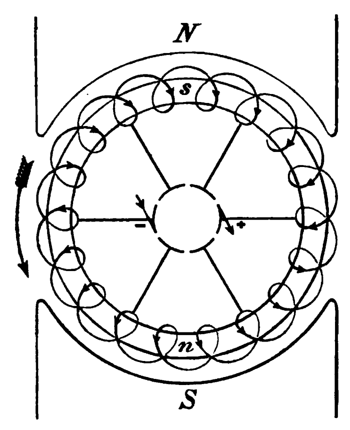


Fig. 127. Gramme-Ring.

fläche sind die Ringanker nach Pacinotti[1]) (1864) und Gramme (1870), Fig. 127.

Der Ringanker nach Pacinotti besteht aus einem gezahnten eisernen Rade, bei welchem der prismatische Raum zwischen je zwei aufeinander folgenden Zähnen mit der Wickelung ausgefüllt ist.

Der Ringanker nach Gramme besteht aus einem aus Eisendrähten verfertigten Eisenkerne mit einer vollkommenen und vollständig bewickelten Ringoberfläche.

Durch die Rotation des Ankers vor den Magnetpolen *NS*, Fig. 127, werden in den Drahtwindungen desselben Ströme induciert. Das den Magnetpolen gegenüberliegende Ankereisen

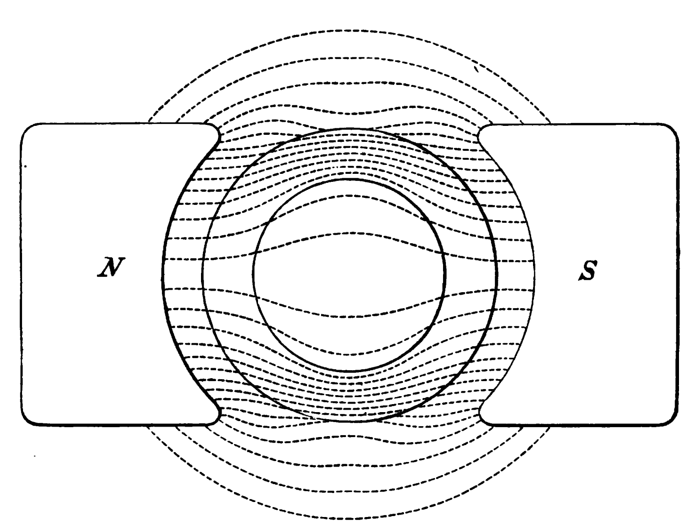


Fig. 128. Magnetisches Feld der ruhenden Dynamo.

erhält die entgegengesetzten Pole, d. h. dem Pole *N* gegenüber immer südlichen *s*, dem Pole *S* gegenüber immer nördlichen *n* Magnetismus.

Die Richtungen der magnetischen und elektrischen Ströme bestimmen einander gegenseitig.

---

[1]) Nuovo Cimento, 1865, XIX, Seite 378.

Nach den angegebenen Regeln (I. B., §. 72) findet man die in der Fig. 127 eingezeichneten Stromrichtungen augenblicklich.

136. Magnetisches Feld. Der Verlauf der magnetischen Kraftlinien in elektrischen Maschinen ist in den Figuren (I. B., S. 57) wiedergegeben.

Fig. 128 zeigt die Vertheilung der Kraftlinien in den beiden Ankerhälften. Ist der Eisenkern von genügender Dicke, so gehen durch denselben sämmtliche Kraftlinien, bei unzureichendem Querschnitte desselben treten auch in den Innenraum des Ankers Kraft-

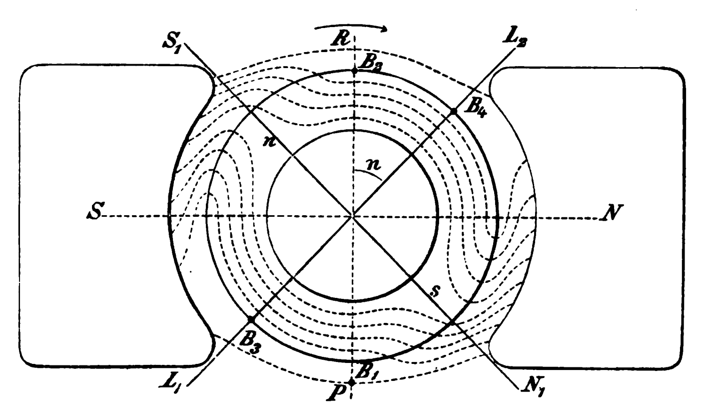


Fig. 129. Magnetisches Feld der rotierenden Dynamo.

linien ein und andere gehen außerhalb des Ankers direkt vom Nord- zum Südpole des Magnetes über.

Fig. 128 stellt den magnetischen Zustand in der dynamoelektrischen Maschine ohne Strom dar.

Aus Fig. 129 ist die Wechselwirkung der Magnetismen des Ringes und der Polschuhe während der Stromerzeugung der Maschine ersichtlich. Schräg gegenüber dem Südpole S_1, in der Richtung der Umdrehung verschoben, entsteht in dem Ringeisen ein Nordpol n; der letztere nimmt die Kraftlinien im Polschuhe S mit sich und drängt sie in dem oberen Theile desselben zusammen. Die Anziehung zwischen S und n einerseits und N und s andererseits muss durch den treibenden Motor überwunden werden und ist deshalb zugleich ein Maß für die zum Antriebe der Dynamo erforderliche Kraft. NS stellt die Verbindungslinie zwischen den beiden Polen N und S, PR eine darauf senkrechte Linie dar; die Bürsten

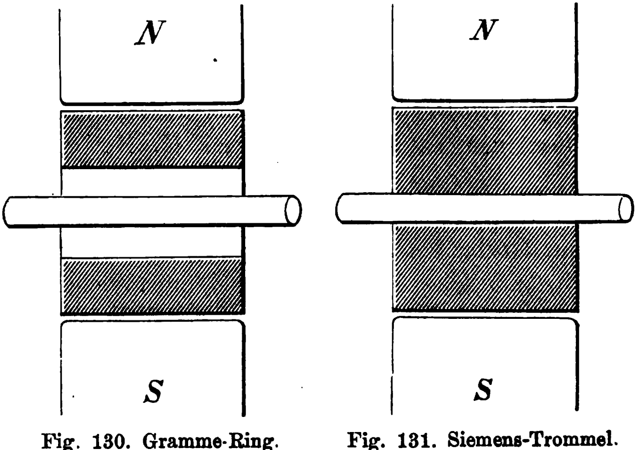


Fig. 130. Gramme-Ring. Fig. 131. Siemens-Trommel.

werden auf die Punkte B_1 und B_2 eingestellt; zeigen sich bei dieser Einstellung Funken, so sind die Bürsten so lange in der Umdrehungsrichtung zu verschieben, bis diejenige Stellung erreicht ist, bei welcher die geringste (keine) Funkenbildung eintritt; die Bürsten stehen dann auf den sogenannten neutralen Punkten B_3 und B_4. Die Verbindungslinie L_1 L_2 der neutralen Punkte heißt neutrale Linie. Den Winkel n, welcher der Verschiebung der Bürsten aus der Stellung B_1 B_2 in die Stellung B_3 B_4 entspricht, nennt man Verschiebungswinkel; derselbe beträgt in den ungünstigsten Fällen über 30⁰ und ist bestimmt durch das Verhältnis aus der Summe der Produkte aus Stromstärke und Windungszahl der Magnete und des Ankers. Das Verhältnis:

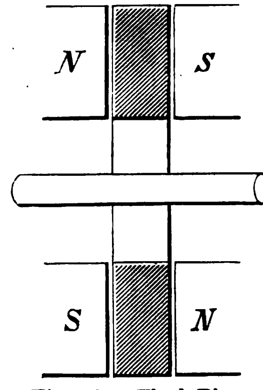


Fig. 132. Flach-Ring.

$$\frac{\text{Summe der Produkte aus Stromstärke} \times \text{Windungszahl in den Magneten}}{\text{Summe der Produkte aus Stromstärke} \times \text{Windungszahl im Anker}}$$

muss für geringe Verschiebungen sehr groß werden.[1])

137. Der Flachringanker (Schuckert) unterscheidet sich vom Grammeringe durch den Eisenquerschnitt.

Den Querschnitt des Grammeringes zeigt Fig. 130, den der Siemenstrommel Fig. 131 und den des Flachringes Fig. 132; in denselben Figuren sind auch die den drei Ankern entsprechenden Polstellungen der Dynamo dargestellt. Die Wickelung des Flachringes ist in derselben Weise durchgeführt, wie jene des Grammeringes.

[1]) Hopkinson, Phil. Trans., 1886, Pt. I, S. 347;
W. Peukert, Centralblatt f. Elektrotechnik, IX, 1887, Seite 484.

138. Der Trommelanker (F. von Hefner-Alteneck, 1872). Die Schaltungsschemen dieser Anker sind in den Figuren Fig. 133 bis 136 [1]) und Fig. 137 ersichtlich. Die Wickelung der Trommel in Fig. 133 besteht aus zwei Lagen (je zwei Drähte sind übereinander gewickelt).

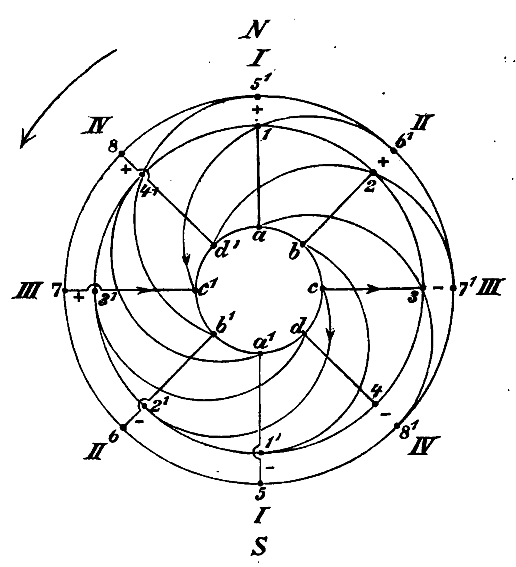


Fig. 133. Wickelungs-Schema für die Siemens-Trommel. Anschlüsse in der Uhrzeigerbewegung.

Der Verlauf der ersten Lage ist der folgende:

Die Wickelung beginnt beim Kollektortheile *a*, tritt bei 1 an den Umfang der Trommel, geht von hier um die ganze Trommel herum und wird, wenn jede Abtheilung nur aus einer Windung besteht, von 1^1 aus an den Kollektortheil *b* angeschlossen.

Besteht jede Abtheilung aus mehreren Windungen, so hat man sich anstatt einer Windung zwischen den Kollektortheilen *a* und *b* mehrere Windungen angeschlossen zu denken; von *b* aus wird nun die zweite, von *d* aus die dritte u. s. w. Abtheilung in derselben Weise gewickelt, wie die erste.

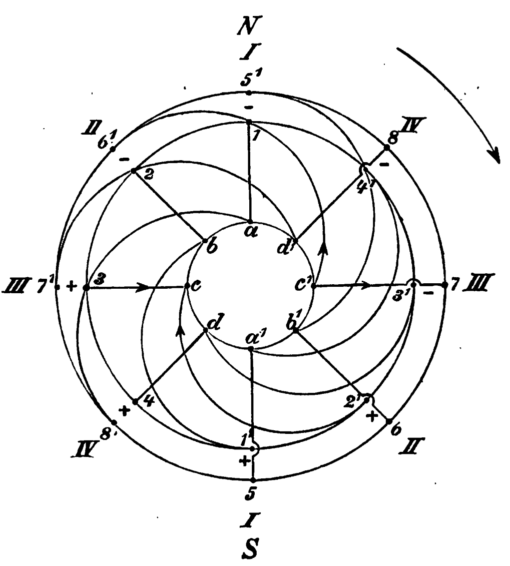


Fig. 134. Wickelungs-Schema für die Siemens-Trommel. Anschlüsse in der entgegengesetzten Richtung der Uhrzeigerbewegung.

Für die erste Lage ergibt sich das Wickelungsschema: a, 1, 1^1, b, 2, 2^1, c, 3, 3^1, d, 4, 4^1 a^1.

[1]) Dr. von Waltenhofen, Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien, V, 1887, S. 273 ff.

Die zweite Lage schließt bei a^1 an und befolgt das Schema: a^1, 5, 5^1, b^1, 6, 6^1, c^1, 7, 7^1, d^1, 8, 8^1, a.

Bei der in Fig. 133 dargestellten Wickelung erfolgen die Anschlüsse an die Kollektortheile in der Richtung der Uhrzeigerbewegung, bei der Wickelung in Fig. 134 in der entgegengesetzten Richtung.

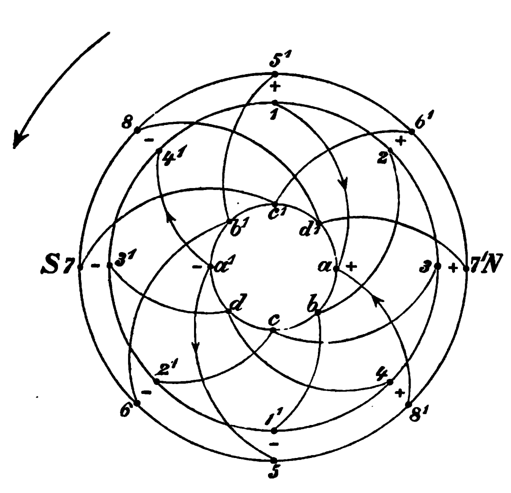


Fig. 135. Edison-Wickelung. Anschlüsse in der Uhrzeigerbewegung.

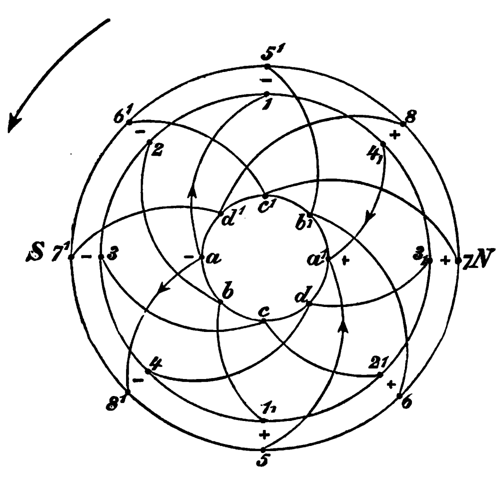


Fig. 136. Edison-Wickelung. Anschlüsse gegen die Uhrzeigerbewegung.

Aus der Trommelwickelung nach Hefner von Altenek erhält man die Trommelwickelung nach Edison, wenn man den Kollektor der ersteren um 90° verdreht. Beide Wickelungen haben eine gerade Anzahl von Kollektortheilen.

Fig. 135 stellt die Edison-Wickelung dar, wenn die einzelnen Abtheilungen der Trommel in der Richtung der Uhrzeigerbewegung an die Kollektortheile angeschlossen sind; in Fig. 136 erfolgen diese Anschlüsse in der entgegengesetzten Richtung. Während in den Fig. 133 und Fig. 134 die Bürsten in einer auf die Verbindungslinie der beiden Pole senkrechten Geraden liegen, befinden sich dieselben in Fig. 135 und Fig. 136 in der Verbindungslinie der beiden Pole.

Die Veränderung der Bürstenstellung in den beiden letzten Schemen im Vergleiche mit den Trommelwickelungen nach Hefner von Alteneck erklärt sich daraus, dass die Anschlüsse der einzelnen Abtheilungen an die Kollektortheile (Kollektor-

segmente, Kollektorlamellen), wie bereits erwähnt, bei den beiden verschiedenen Wickelungen um 90° gegeneinander verschoben sind.

Fig. 137 zeigt ein Wickelungsschema eines Trommelankers für eine Trommel mit einer Lage.

Bei dieser Wickelung werden zuerst die ersten halben Felder (1. halben Abtheilungen I I, II II, III III und IV IV) mit Drähten bewickelt, dann die zweiten halben Felder. Die Anschlüsse an die Kollektortheile erfolgen in der Richtung der Bewegung eines Uhrzeigers; dort, wo der letzte Draht der ersten Hälfte des Ankers angeschlossen ist, beginnt der erste Draht der zweiten Hälfte.

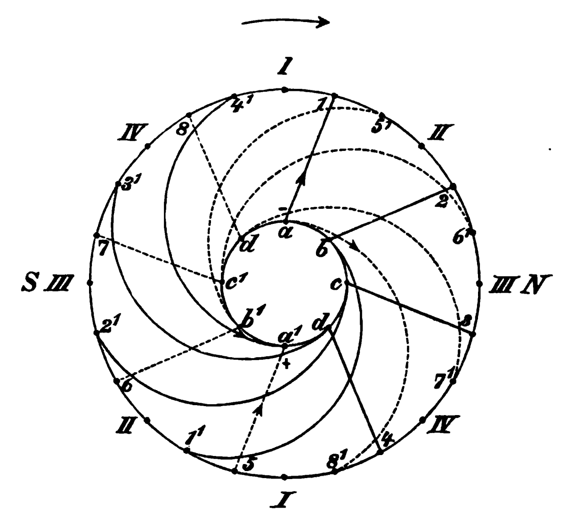


Fig. 137. Wickelungsschema einer Trommel.

Bei den Trommeln dieser Art mit zwei und mehreren Lagen befolgt die Wickelung dasselbe Schema, es erhält jedoch jedes halbe Feld die doppelten, dreifachen oder mehrfachen Drähte übereinander gelagert.

Bei zweckentsprechender Anordnung ist durch diese Wickelung insbesondere eine genaue Uebereinstimmung der Widerstände der beiden parallel geschalteten Ankerhälften zu erreichen.

Die Bürstenstellung ist in sämmtlichen Schemen der Trommelanker durch Pfeile und Zeichen (+ und —) ersichtlich gemacht.

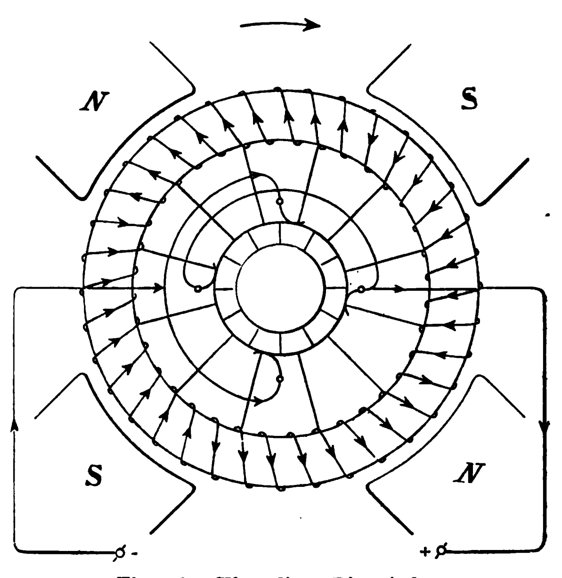


Fig. 138. Vierpoliger Ring-Anker.

139. Die Ringanker der vielpoligen Maschinen. Die Abtheilungen der bisherigen Anker waren hintereinander verbunden und durch die Bürsten in zwei parallel geschaltete Hälften getheilt. Ist das magnetische Feld der Maschine aus mehreren Feldern zusammengesetzt, so ist für jedes Feld (jedes Paar von Polen) ein Bürstenpaar erforderlich, Fig. 138, wenn nicht besondere Verbindungen an der geschlossenen Wickelung vorgenommen werden sollen.

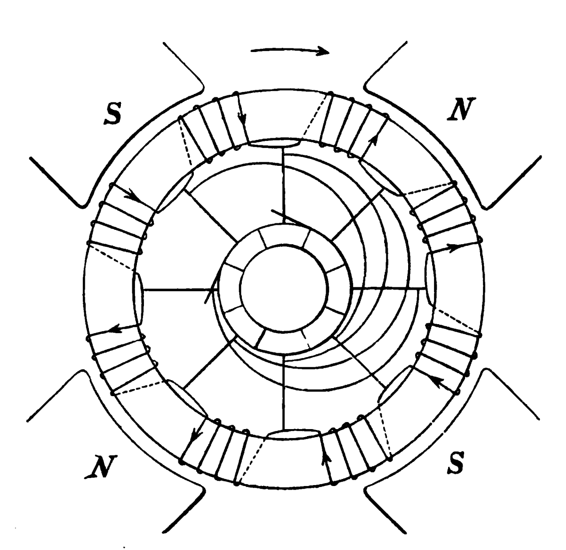


Fig. 139. Morday-Schaltung.

Die bekannteste Schaltungsmethode einer vielpoligen Maschine ist die nach Morday, Fig. 139. Diese Schaltung findet hauptsächlich bei Maschinen für sehr hohe Stromstärken Verwendung.

Das Princip der Schaltungen an vielpoligen Maschinen besteht darin, dass sämmtliche positiven Pole zu einer und sämmtliche negativen Pole zu einer zweiten Bürste geführt werden. In vierpoligen Maschinen müssen deshalb die Drähte von 180° zu 180°, in sechspoligen Maschinen von 120° zu 120°, in achtpoligen von 90° zu 90°, in zehnpoligen von 72° zu 72°, allgemein in n-poligen Maschinen von

$$\frac{360^0}{\frac{n}{2}} \text{ zu } \frac{360^0}{\frac{n}{2}}$$

aneinander angeschlossen werden.

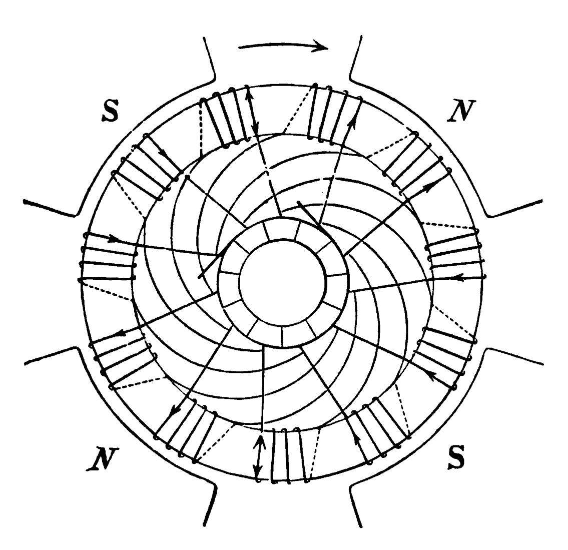


Fig. 140. Perry-Schaltung.

Fig. 140 zeigt die Schaltung einer vierpo-

ligen Maschine nach Perry (1882), für Anker mit einer ungeraden Anzahl von Ankerabtheilungen (in der Figur 11 Abtheilungen). Während Gramme die aufeinander folgenden Abtheilungen mit einander verbindet, sind bei dieser Methode immer die einander nächst gegenüberliegenden Abtheilungen verbunden. Für Maschinen mit niederer Spannung ist diese Methode vorzuziehen, da durch dieselbe der Widerstand der Ankerwickelung auf den vierten Theil vermindert wird.

Bei vielpoligen Maschinen mit höheren Spannungen empfiehlt sich die Methode von Andrews. Die zum Felde nahezu symmetrisch liegenden Abtheilungen des Ankers sind hintereinander verbunden. Bei diesen Maschinen beträgt die durch die Verbindungen der Ankerdrähte bedingte ungerade Anzahl der Ankerabtheilungen in der Regel 59.

140. Der Trommelanker der vielpoligen Maschinen. Die Abnahme des Stromes erfolgt bei den Maschinen dieser Wickelung, sowie bei den vielpoligen Maschinen mit Ringanker,

1. durch Anbringung mehrerer Bürstenpaare und Parallelschaltung derselben,

2. durch Anbringung zweier Bürstenpaare bei entsprechender Verbindung der Ankerdrähte.

141. Der Vergleich der Ring- und Trommelanker ist durch folgende Punkte übersichtlich zusammengestellt:

Vortheile der Trommelanker.

1. Großer Querschnitt des Ankereisens (der beste Eisenkern besitzt keine Höhlung und erscheint unmittelbar auf die Welle aufgebaut); die bewegte Masse ist demnach größer als beim Ringanker.

2. Die Masse des Ankers trägt insbesondere bei größeren Trommeln, wie ein Schwungrad, zur Gleichmässigkeit des Ganges der Maschine bei.

3. Die Trommelwickelung lässt sich sehr gut für mehrpolige Maschinen mit nur zwei Bürsten verwenden.

4. Der Widerstand des Trommeldrahtes ist kleiner, weil dieser Anker bei gleicher Größe im Vergleiche mit einem Ringanker weniger Draht erfordert.

5. Die Neigung zur Quermagnetisierung erweist sich geringer, als beim Ringanker. Die quermagnetisirenden Kraftlinien sind in Fig. 141 ersichtlich gemacht. Die Wege dieser Kraftlinien führen vom Nordpole des Ankereisens durch die Magnetschenkel zum Südpole des Ankereisens.

Nachtheile der Trommelanker.

1. Die Befestigung der Drähte auf der Trommel ist bei glatten Trommeln umständlicher als beim Grammeringe.

2. Die Reparaturarbeiten bedingen oft das Abwickeln der ganzen Trommel, während beim Ringanker die einzelnen Abtheilungen leicht ausgewechselt werden können.

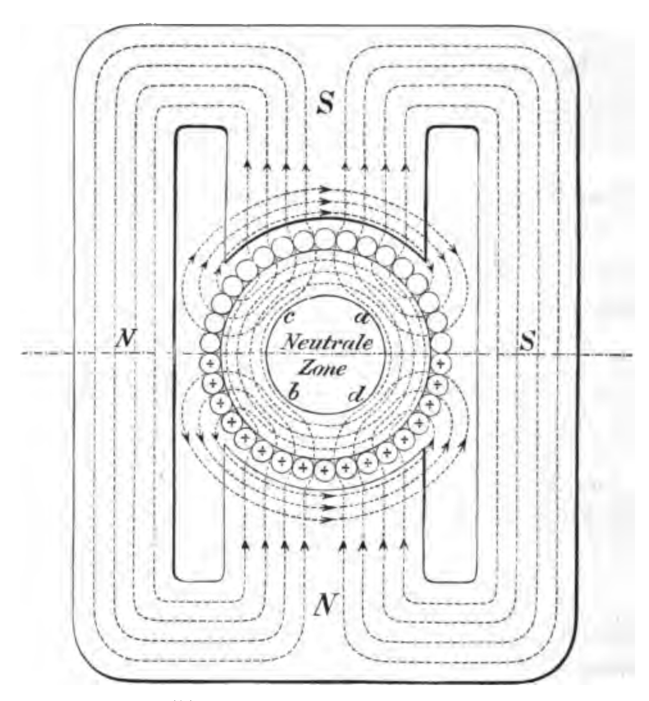


Fig. 141. Quermagnetisierung.

3. Kommen bei der Trommelwickelung Drähte von höheren Spannungsdifferenzen neben- oder übereinander zu liegen, so ist die Gefahr des Durchschlagens der Isolation eine größere.

4. Der Grammering hat eine bessere Lüftung als der Trommelanker.

142. Der Scheibenanker unterscheidet sich vom Ring- und Trommelanker insbesondere dadurch, dass er keinen Ankerkern enthält.

Wird eine Drahtspule, deren Windungsfläche senkrecht zur Achse eines Magnetes liegt, vor dem Pole desselben bewegt, so dass sie die Fläche der Achse senkrecht schneidet, so entsteht in der Spule ein Strom.

Fig. 142 und 143 geben die Anordnung einer Maschine mit Scheibenanker wieder. Die Kraftlinien gehen in Fig. 143 von N nach S_1 direkt durch die Windungen W_1 und von N_1 nach S direkt durch die Windungen W_2. In Fig. 142 sind nur 2 Pole ersichtlich, die Win-

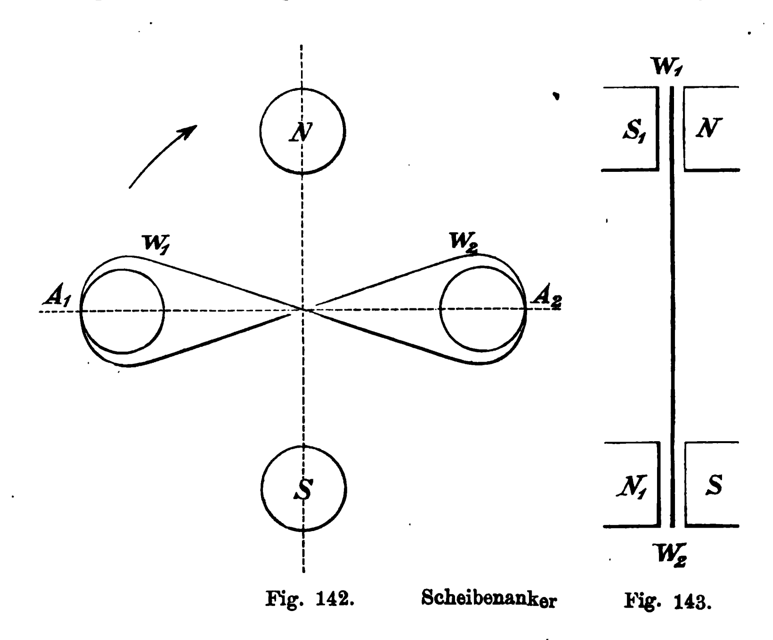


Fig. 142. Scheibenanker Fig. 143.

dungen W_1 und W_2 erscheinen um 90° gedreht. Sowie bei der magnetelektrischen Maschine (I. B., S. 66) wechselt auch hier der Strom in dem Momente seine Richtung, in welchem der Mittelpunkt der Fläche durch die Achse A_1 A_2, welche auf der Verbindungslinie der Pole N und S senkrecht steht, bewegt wird.

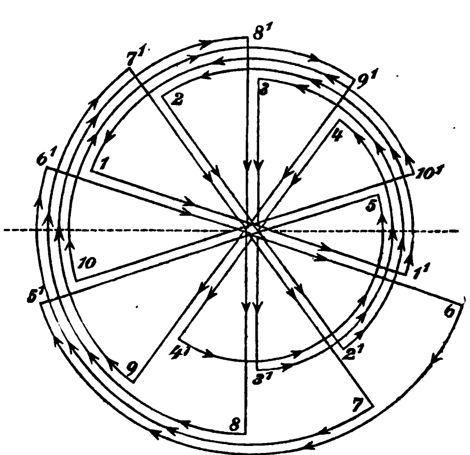


Fig. 144. Scheibenanker nach Pacinotti.

Diese Maschinen können sowohl für Gleichstrom, als auch für Wechselstrom verwendet werden, je nachdem der Stromsammler aus zwei von einander isolierten Ringen oder aus einem Gleichstromkommutator besteht und sind in der Regel mehrpolige Maschinen mit Reihenschaltung.

Der Scheibenanker

nach Pacinotti ist in Fig. 144 schematisch dargestellt. Dieser Scheibenanker wurde von Pacinotti im Jahre 1875 erfunden und im Jahre 1881 in einer Maschine mit Elektromagneten in Paris ausgestellt. Die Wickelung des Ankers bildet einen in sich selbst geschlossenen Stromkreis.

Der Anker in Fig. 144 besteht aus 10 Theilen, mit 20 in der Richtung des Halbmessers (radial) angeordneten Leitern. Stellt die punktierte Linie in der letzten Figur den Durchmesser des Stromwechsels dar, so fließen die Ströme in der einen Ankerhälfte radial nach innen, in der anderen radial nach außen.

Die neuesten Scheibenanker stammen von Desrozier[1]), Robin[2]), Jehl und Rupp[3]) und Sayers[4]).

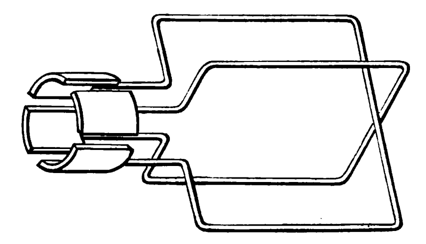


Fig. 145. Anker mit offener Wickelung. 2 Windungen.

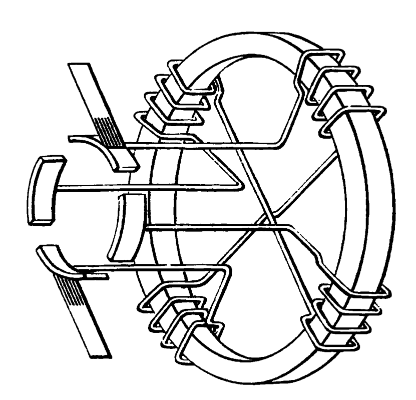


Fig. 146. Anker mit offener Wickelung. 4 Abtheilungen.

143. Anker mit offener Wickelung.

Da bei den bisher genannten Ankern sämmtliche Windungen zu einem geschlossenen Stromkreise vereinigt waren, nennt man dieselben Anker mit geschlossener Wickelung im Gegensatze zu den Ankern mit offener Wickelung, Fig. 145 und Fig. 146, welche aus zwei getrennten Zweigen bestehen, deren Ebenen auf einander senkrecht stehen; während in einer Windung der stärkste Strom inducicrt wird, ist in der von derselben getrennten senkrechten Windung der inducierte Strom gleich Null. Die auf dem Umfange des Ankers entgegengesetzt zu einander angeordneten Abtheilungen sind rückwärts mit einander verbunden.

---

[1]) Lum. Electr. XXIV, 1887, S. 293, 294 und 517.
[2]) „ „ „ 1887, S. 544.
[3]) „ „ „ 1887, S. 543.
[4]) Specif. of Patent. 717 von 1887.

Die Anker mit offener Wickelung können Ring-, Trommel- und Scheiben-Anker sein.

Der Anker der Brushmaschine ist ein Ringanker mit offener Wickelung. Wilhelm Peukert[1]) hat im Jahre 1884 das Schaltungsschema dieser Maschine, über welches bis dorthin ganz unrichtige und unverständliche Anschauungen herrschten, vollkommen klar gestellt und wurde so der Begründer der Theorie der Maschinen mit offener Wickelung; von ihm wurde der Vorgang der Induktion in der genannten Maschine erdacht. Das nicht inducierte, in der neutralen Stellung befindliche Spulenpaar und somit auch dessen Widerstand ist während der Thätigkeit der Maschine ausgeschaltet; ein Spulenpaar befindet sich im Maximum der Induktion; die beiden benachbarten Spulen sind zu einander parallel und hinter das meist inducierte geschaltet.

Der Anker von Elihu Thomson und Edwin J. Houston[2]) hat eine offene Wickelung und ist der einzige Anker von kugelförmiger Gestalt,[3]) welcher zwischen zwei becherförmig ausgehöhlten Magnetschenkeln rotiert und einen dreitheiligen Kommutator besitzt; die zwischen den Theilen dieses Kommutators entstehenden Funken vermindert ein auf derselben Welle sitzender Gebläseapparat.

Die Anker mit offener Wickelung werden zur Stromabgabe an Bogenlampen, insbesondere in England und Amerika häufig und mit bestem Erfolge, verwendet; die geringe Anzahl der Ankerabtheilungen verursacht größere Stromschwankungen, als die größere Anzahl der Ankerabtheilungen der früheren Anker.

144. Die Anker der Wechselstrommaschinen waren schon bei den ersten magnetelektrischen Maschinen (Pixii, I. B., S. 67 in Gebrauch, die Stromsammler derselben sind in den Figuren, Fig. 73 und Fig. 74, I. B. durch 2 Ringe R_1 und R_2 dargestellt. Die Spulen der Wechselstromanker werden entweder nebeneinander (parallel) für hohen Stromstärken oder hintereinander für hohe Spannungen oder gemischt (neben- und hintereinander) geschaltet.

Die Anker der Wechselstrommaschinen zerfallen, sowie jene der Gleichstrommaschinen, in Ring-, Trommel-, Flachring-, Scheiben- und Polanker und unterscheiden sich von den entsprechenden

---

[1]) Professor Wilhelm Peukert Zeitschrift für Elektrotechnik, 1884.

[2]) Guerot, La lumière electr. XV, 1885, S. 398.

[3]) Die ältere Konstruktion dieses Ankers war mit einer Trommelwickelung ausgerüstet und hatte eine vollkommen kugelförmige Gestalt; die neuere Konstruktion besitzt eine Ringwickelung und stellt eine unvollkommene, an der Kollektor- und Riemenscheibenseite abgeflachte Kugel dar.

Ankern der Gleichstrommaschinen hauptsächlich durch die Verbindung der einzelnen Abtheilungen oder durch die Art der Wickelung derselben.

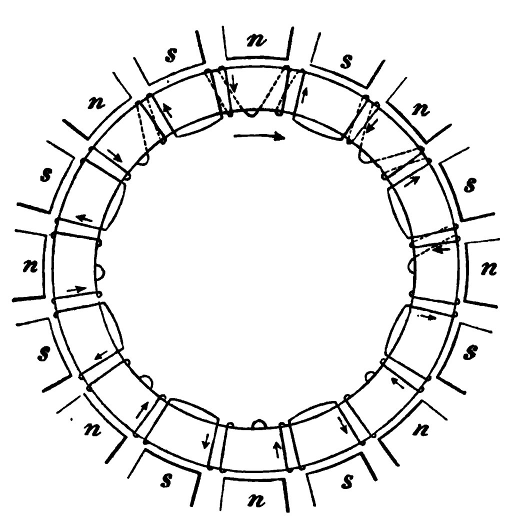
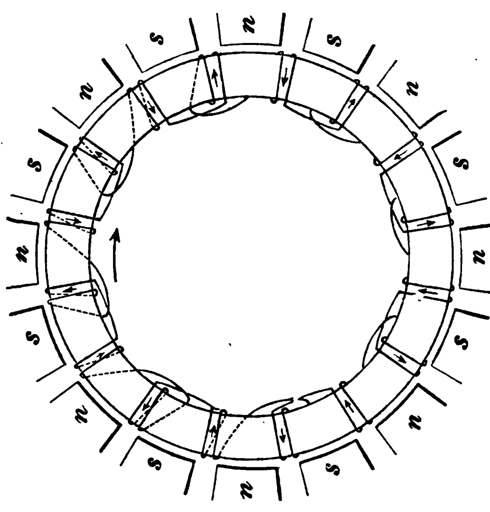


Fig. 147.
Schaltung eines Ringankers für Wechselstrom.

1. Die Ringanker der Wechselstrommaschinen wurden im Jahre 1878 fast gleichzeitig von Wilde und Gramme erdacht.

Fig. 147 zeigt die Verbindung der einzelnen Abtheilungen, wenn dieselben abwechselnd nach rechts und links, Fig. 148, wenn sämmtliche Abtheilungen nach rechts gewickelt sind. Anker dieser Art konstruierten weiter: A de Méritens (1879), Elwell Parker (1887) und Heisler (1889).


Fig. 148.
Schaltung eines Ringankers für Wechselstrom.

2. Die Flachringanker der Wechselstrommaschinen. Der Anker der Wechselstrommaschine von Maquaire[1]) besteht aus 2 Flachringen; Kennedy und Kapp bauen ebenfalls Flachringanker für Wechselstrommaschinen.

3. Die Trommelanker der Wechselstrommaschinen. Der Anker der Wechselstrommaschine der Firma Siemens & Halske (Patent vom 3. April 1878), sowie der Anker der Wechselstrommaschine nach William Stanley jr. (Westinghouse & Co. in Pittsburg) sind Trommelanker.

[1]) A. Beringer, Elektrotechn. Zeitschrift, IV, 1883, S. 72.

4. Die Scheibenanker der Wechselstrommaschinen bestehen aus Ankerspulen, die am Umfange einer Scheibe befestigt sind. Das Schaltungsschema dieser Ankerform, welche schon den ersten magnetelektrischen Maschinen eigen war (Fig. 73 und Fig. 74) ist in Fig. 149 mit den Sammelringen R_1 und R_2 wiedergegeben.

Von den wichtigsten Maschinen mit Scheibenanker seien genannt:

Die Maschinen nach Wilde (1867), Siemens & Halske, Lachausée, Gordon, Ferranti und Mordey.

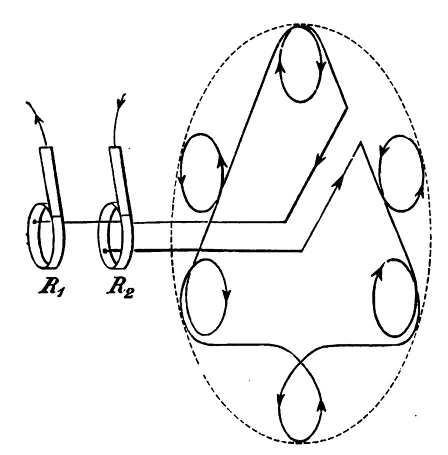


Fig. 149. Schaltungsschema eines Wechselstrom-Scheibenankers.

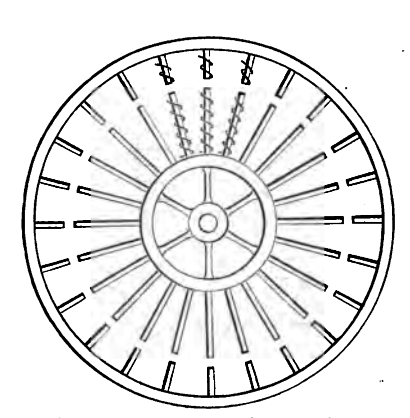


Fig. 150. Dynamo mit Polanker.

5. Die Polanker der Wechselstrommaschinen. Der Vorgang der Induktion in diesen Ankern ist derselbe wie bei Scheibenankern (Fig. 142 und 143). Die erste Wechselstrommaschine mit Polanker, Fig. 150, wurde im Jahre 1878 nach Lontin in Paris ausgestellt. Fig. 151 zeigt das Princip und die Verbindungen dieses Ankers. Neuere Maschinen dieser Art sind die Maschinen nach Ganz & Co. (Budapest), Siemens & Halske und J. und E. Hopkinson.

145. Die Haupteigenschaften der Ankerwickelungen.

1. Der Widerstand der Ankerwickelung muss sehr klein sein, d. h. die Wickelung soll, soweit dies mit der Tourenzahl der Maschine vereinbar ist, aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes bestehen.

2. Ist der einzelne Draht zu stark und deshalb schwer wickelbar, so kann derselbe durch mehrere parallel geschaltete dünnere Drähte ersetzt werden.

3. Die elektrische Leitungsfähigkeit $\frac{1}{c}$ des Drahtes (I. B., S. 18) muss möglichst groß sein.

4. Der Abstand zwischen dem Eisenkerne und dem Polschuhe muss überall gleich sein.

5. Die Ankerwickelung ist, falls Stromschwankungen vermieden werden sollen, in eine große Anzahl von Abtheilungen zu theilen.

6. Unregelmäßige Verbindungen zwischen den Ankerabtheilungen und dem Stromsammler bedingen insbesondere Aenderungen in der elektromotorischen Kraft und Funkenbildung.

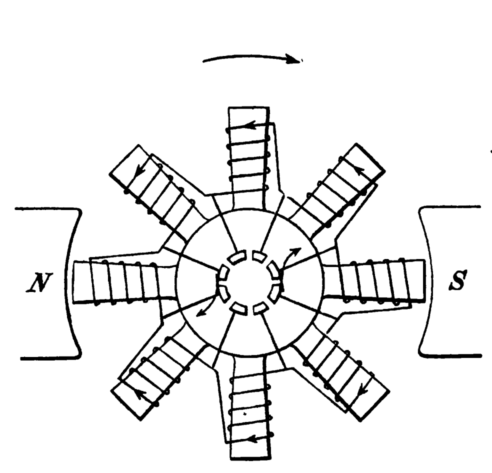


Fig. 151. Pol-Anker.

7. Bei den Ankern mit offener Wickelung ist besonders darauf zu achten, dass die nicht inducierten, aus dem Stromkreise ausgeschlossenen Spulen vor Kurzschlüssen geschützt werden.

8. Die Kerne der Polanker müssen an den Polenden bewickelt sein, weil dort die Aenderungen des inducierten Magnetismus am wirksamsten sind.

9. Die sorgfältigste Isolation der Ankerwickelung ist die Grundbedingung für einen andauernden Betrieb. Als Isolation verwendet man zumeist Baumwolle, Zwirn und Seide.

10. Die Erwärmung des Ankers darf + 80° C. nie übersteigen, weil sonst jede Isolation Schaden leidet. Beträgt die Temperatur des Maschinenraumes z. B. 20° C., dann soll sich der Anker nur um 60° C. erwärmen.

11. Eine gute Durchlüftung des Ankers trägt zur Abkühlung desselben bei.

12. Der Widerstand der parallel geschalteten Abtheilungen muss gleich groß sein, wenn nicht ungleiche Induktionen in den beiden Ankerhälften auftreten sollen.

13. Die Wahl der zulässigen Beanspruchung des Ankerdrahtes für 1 mm^2 ist maßgebend für die Erwärmung desselben.

14. Die besten Materialien für Ankerdrähte sind Kupfer und Eisen.

146. Für die Berechnung der Ankerwickelung ist die Wahl der Beanspruchung des Drahtes für 1 mm^2 entscheidend; für letztere sind bestimmend:

1. Die Entfernung der einzelnen Drähte.
2. Die Anzahl der Lagen.
3. Die Art der Isolation der Ankerdrähte.
4. Die Ankerkonstruktion.
5. Die Art der Durchlüftung des Ankers.
6. Die Art der Wickelung.

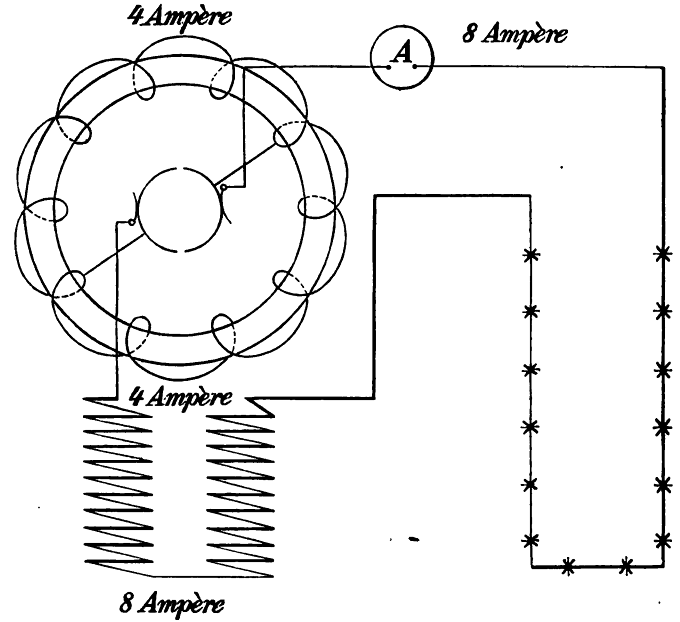


Fig. 152. Reihenmaschine.

7. Beschaffenheit des Leiters. Drähte erwärmen sich stärker als Litzen.

Die Beanspruchung des Drahtes für 1 mm^2 beträgt 3—7 Ampère.

Beispiel: Die Stromstärke einer Serienmaschine sei 8 Ampère; wie groß ist der Querschnitt des Ankerdrahtes bei einer Beanspruchung von 4 Ampère für 1 mm^2?

Da bei der Serienmaschine Anker, Magnete und äußerer Stromkreis hintereinander geschaltet sind, Fig. 152, so ist die Stromstärke überall dieselbe, in den Magneten, dem äußeren Stromkreise und in den beiden Ankerhälften 8 Ampère, also in jeder Ankerhälfte 4 Ampère, da

letztere parallel geschaltet sind; der Stromstärke von 4 Ampère entspricht nach Annahme ein Querschnitt von 1 mm^2.

Beispiel: Wie groß ist der Durchmesser des Ankerdrahtes einer zweipoligen Nebenschlussmaschine, Fig. 153, für 22 Ampère bei einer Beanspruchung von 4 Ampère für 1 mm^2 und 2 Ampère Magnetstrom?

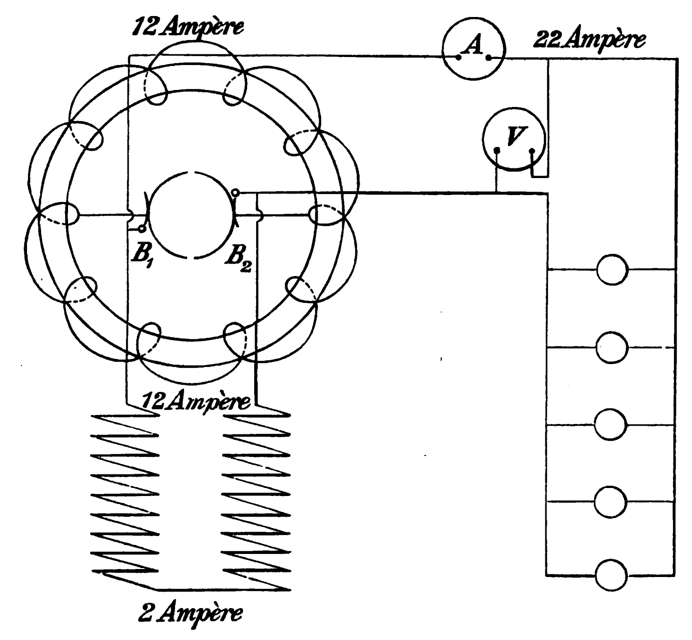


Fig. 153. Nebenschlussmaschine.

Im Anker muss der Gesammtstrom (22 + 2 = 24 Ampère) erzeugt werden; da die beiden Hälften desselben parallel geschaltet sind, so werden durch jede Hälfte 12 Ampère fließen. Für je 4 Ampère ist nach Annahme 1 mm^2 Ankerdraht erforderlich, also beträgt der Querschnitt für $3 \times 4 = 12$ Ampère, $3 \times 1 = 3\,mm^2$ und man kann deshalb aus einer Querschnittstabelle oder aus der Querschnittsformel:

$$q = \frac{\pi d^2}{4},$$

worin q = Querschnitt, d = Durchmesser, $\pi = 3{\cdot}1416$, den Durchmesser des Ankerdrahtes bestimmen. Aus der letzteren Formel erhält man

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 3}{3{\cdot}14}} = \sqrt{4} = 2\ mm.$$

Beispiel:

Es ist der Querschnitt des Ankerdrahtes einer 4-poligen Nebenschlussmaschine, Fig. 154, zu bestimmen, wenn

1. der Außenstrom = 390 Ampère,
2. der Magnetstrom = 10 „ und
3. die Beanspruchung = 4 „ für 1 mm^2 betragen.

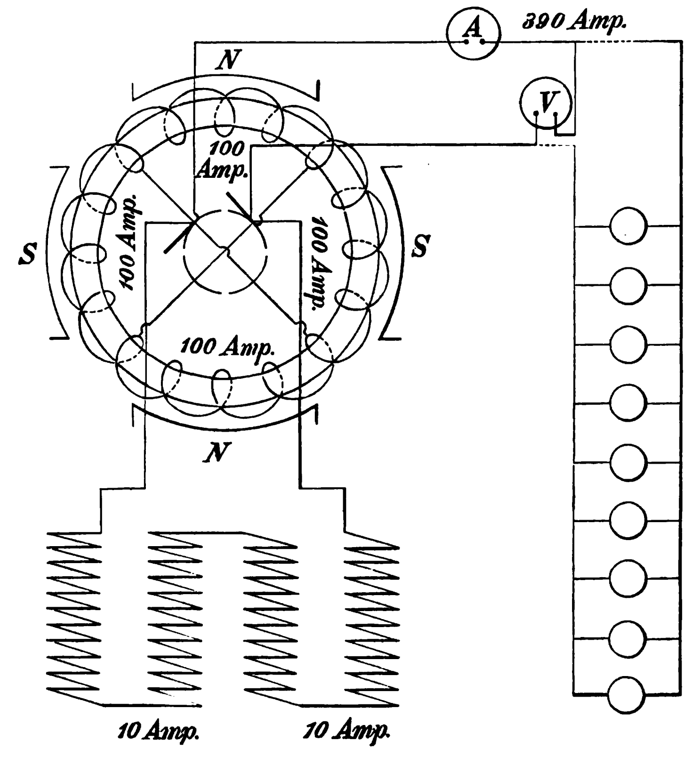


Fig. 154. Vierpolige Nebenschlussmaschine.

Der Gesammtstrom, welcher im Anker erzeugt werden muss, beträgt in diesem Falle $390 + 10 = 400$ Ampère. Da die Ankerwickelung der vierpoligen Maschine aus 4 gleichen, parallel geschalteten Theilen besteht, so durchfließen jedes Ankerviertel $\frac{400}{4} = 100$ Ampère. Nach Annahme 3) beträgt der Querschnitt des Ankerdrahtes bei einer Beanspruchung von je 4 Ampère 1 mm^2, also für $100 = 25 \times 4$ Ampère, $25 \times 1 = 25\ mm^2$.

25 mm^2 entsprechen einem Durchmesser von 5·7 *mm*. Bei größeren Durchmessern lässt sich Kupferdraht sehr schwer wickeln, weshalb dann auch wegen der besseren Raumausnützung Kupferstäbe, Kupferstreifen und Litzen verwendet werden; da die letzteren Wickelungen ebenfalls schwer ausführbar sind, zeigt es sich, dass für hohe Stromstärken sechs- und mehrpolige Maschinen zweckentsprechend erscheinen.

Beispiel:

Welchen Querschnitt erhält der Ankerdraht, mit Beibehaltung der Angaben des letzten Beispieles, für sechs-, acht- und mehrpolige Maschinen?

6-polige Maschine: $\frac{400}{6} = 67$ Ampère;

$\frac{67}{4} = 17\ mm^2$; 4·7 *mm* Durchmesser.

8-polige Maschine: $\frac{400}{8} = 50$ Ampère;

$\frac{50}{4} = 12\ mm^2$; 4 *mm* Durchmesser.

12-polige Maschine: $\frac{400}{12} = 33$ Ampère;

$\frac{33}{4} = 8\ mm^2$; 3·2 *mm* Durchmesser.

n-polige Maschine: $\frac{400}{n}$ Ampère; $\frac{400}{4n}$ *mm* Durchmesser.

Da bei den zweipoligen Maschinen für hohe Stromstärken die Ankerdrähte zu stark werden, geht man auf mehrpolige Maschinen über. Um auf sehr niedrige Touren zu kommen, baut man Maschinen mit großen Durchmessern und zwar mehrpolige oder Innenpolmaschinen.

147. Die Stromabgeber führen den im Anker erzeugten Strom den Bürsten zu, welche denselben an den äußeren Stromkreis abgeben.

Die Stromabgeber sind:

1. Stromabgeber, Fig. 155, bestehend aus zwei von der Welle isolierten Schleifringen. Die Stromabnahme besorgen zwei Schleiffedern. Diese Stromabgeber wurden schon bei den ersten Wechselstrommaschinen verwendet.

2. Stromabgeber, Fig. 156, welche den als Wechselstrom auftretenden inducierten Strom gleichrichten; man nennt dieselben Kommutatoren (Stromwender). Die Maschine von Pixii (1832) war mit diesem Stromwender versehen.

In Fig. 155 schleift jede Bürste auf einem Ringe und erhält während einer Umdrehung einmal positiven das andere mal negativen Strom (Wechselstrom). Die einzelnen Ankerspulen können hintereinander, nebeneinander oder gemischt geschaltet sein. Bei der Hintereinanderschaltung sind der Anfang der ersten Spule und das Ende der letzten Spule mit je einem Schleifringe zu verbinden. Bei der Nebeneinanderschaltung werden die positiven Pole sämmtlicher Ankerspulen an den einen, die negativen Pole an den anderen Schleifring angeschlossen. Bei der gemischten Schaltung sind entweder mehrere Ankerspulen nebeneinander, die so entstehenden Gruppen hintereinander geschaltet und

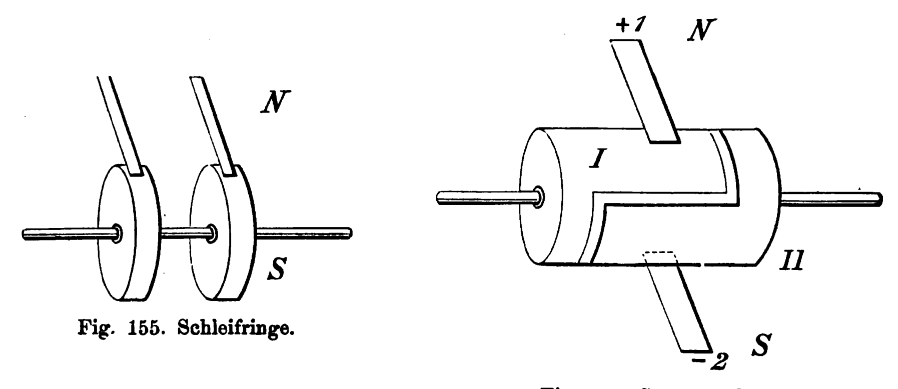


Fig. 155. Schleifringe.

Fig. 156. Stromwender.

so wie hintereinander geschaltete Ankerspulen an die Schleifringe gelegt oder mehrere Ankerspulen hintereinander, die so entstehenden Reihen von Spulen parallel geschaltet und wie nebeneinander geschaltete Ankerspulen an die Schleifringe angeschlossen.

In Fig. 156 sind die beiden Ringe durch zwei von einander isolirte Kommutatorhälften ersetzt. Die Bürsten müssen gleichzeitig verschiedene Theile (Hälften des Kommutators berühren. Bei dieser Anordnung schleift die Bürste 1 bei der ersten halben Umdrehung auf dem Theile I (positiver Strom), bei der zweiten halben Umdrehung auf dem Theile II (positiver Strom).

Die Bürste 1 erhält demnach während einer Umdrehung immer positiven Strom. Gleichzeitig mit der Bürste 1 schleift die Bürste 2 während der ersten halben Umdrehung auf dem Theile II (negativer Strom), bei der zweiten halben Umdrehung auf dem Theile I (negativer Strom). Die Bürste 2 erhält somit während einer Umdrehung immer negativen Strom. Während jeder weiteren Umdrehung erfolgt die Stromabnahme

in derselben Weise, d. h.: Die Bürste 1 erhält stets positiven, die Bürste 2 stets negativen Strom (Gleichstrom).

3. In Stromabgeber, Fig. 157, welche die hintereinander geschalteten Ankerwindungen durch die Bürsten in zwei parallele Hälften schalten; sie heißen Kollektoren (Stromsammler).

Der Stromsammler in Fig. 157 ist mittelst der Kollektorbüchse auf die Welle der Maschine aufgebaut und besteht aus so vielen von einander und von der metallischen Kollektorbüchse wohl isolierten Theilen, als der Anker Spulen oder Abtheilungen besitzt.

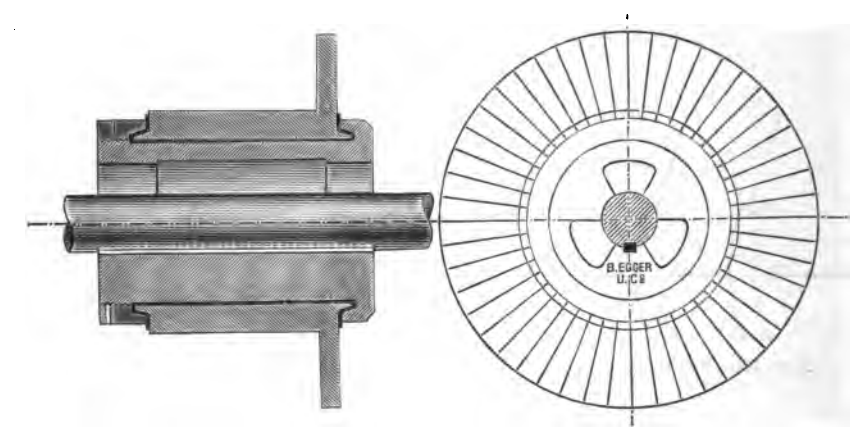


Fig. 157. Kollektor.

Die Lamellen (Stäbe, Streifen, Kontaktstücke oder Segmente) bestehen zumeist aus Kupfer, Rothguss, Phosphorbronce, Stückgut, die Isolation zwischen denselben aus Asbest, Glimmer, Presspan, Hartfieber (vulkanisiertes Fiber), Gyps; das Isolationsmaterial soll schwer brennbar sein, damit selbst durch unrichtige Wartung der Maschine entstehende Funkenbildung die Isolation nicht beschädigen kann.

In den ersten Weston-Maschinen waren die Lamellen durch Luft isoliert.

Siemens & Halske wenden bei den Maschinen der Type L. H. auch eiserne Lamellen, welche leicht auswechselbar sind und Luftisolation besitzen, an. Durch die letztere Isolation wird die Ansammlung von Metallstaub zwischen den einzelnen Lamellen und dadurch deren Kurzschluss verhindert.

Zur Vermeidung des Kurzschlusses der Lamellen durch Metallstaub und der Erwärmung des Kollektors werden auch Gebläsevorrichtungen gebraucht. Der Metallstaub kann weiters die Ankerwindungen kurz-

schließen; Siemens & Halske umgeben denselben aus diesem Grunde an den Stirnflächen mit einer Leinwandkappe.

Das Schützen des Ankers durch ein dünnes Schutzblech, welches an der Maschine oder an dem Magnetkörper der Maschine befestigt ist, vor mechanischen Beschädigungen empfiehlt sich nicht.

148. Die Haupteigenschaften eines Stromsammlers sind:

1. Das Material muss ein entsprechendes sein (§ 146).

2. Nur eine schwer brennbare Isolation verhindert bei Funkenbildung den Kurzschluss der Kollektorlamellen.

3. Die Verbindungsstellen zwischen Kollektor und Bürsten müssen vollkommenen Kontakt herstellen.

4. Der Kollektor muss stets vollkommen rund sein, damit eine innige Berührung zwischen den Bürsten und der Oberfläche desselben stattfinde und keine Lamelle von der Bürste übersprungen werde, weil sonst Stromunterbrechung eintritt. Es ist deshalb erforderlich, dass der Kollektor nach jedesmaligem Einstellen des Betriebes durch Schmirgel- oder Glaspapier blank gemacht wird; stellen sich größere Ungleichmäßigkeiten an dem Kollektor ein, so ist derselbe abzufeilen oder abzudrehen.

5. Der Kollektor muss auf das genaueste ausbalanciert sein, weil anderenfalls eine starke Abnützung desselben und starke Funkenbildung stattfinden.

6. Werden bei vollkommener Herstellung des Kollektors und richtiger Behandlung desselben eine oder mehrere Lamellen besonders stark abgenützt, so zeigt sich Funkenbildung und der Fehler liegt in den an diese Lamellen angeschlossenen Windungen.

7. Der Kollektor darf nur in ganz geringem Maße geölt oder geschmiert werden, weil sonst leicht durch anhaftenden Metallstaub Kurzschluss unter den Lamellen desselben entstehen kann.

8. Auf das Verschrauben oder Verlöthen der Lamellen mit den Enddrähten der Ankerabtheilungen ist besondere Sorgfalt zu verwenden.

149. Der Kollektor nach Helios. Helios (Aktiengesellschaft für elektrisches Licht und Telegraphenbau in Ehrenfeld und Köln[1]) haben eine Schaltung von Elektricitätserzeugern, Fig. 158, erfunden, welche insbesondere zu den folgenden Zwecken dient:

1. Die Benützung der Gleichstrommaschinen zur Abgabe von Wechselstrom. In Fig. 158 stellt *a* den Stromsammler einer zweipoligen Gleichstrommaschine (Nebenschlussmaschine) dar. Zwei gegenüberliegende Lamellen *c* und *e* sind mit den isolierten Ringen *d* und *f* verbunden.

---

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1888, S. 84.

Wird die Maschine angetrieben, so kann an den Bürsten *b b* Gleichstrom, an den Bürsten *g* und *h* Wechselstrom abgenommen werden. Diese Schaltung ist auch für mehrpolige Maschinen anwendbar.

2. Wird durch die Bürsten *g* und *h* Wechselstrom in die Maschine eingeführt, so lauft dieselbe an und kann zur Kraftübertragung benützt werden. Die Tourenzahl steigt rasch zur normalen an. Eine vierpolige Maschine z. B. macht 1000 Umdrehungen in der Minute, wenn ihr Wechselstrom von 4000 Impulsen (Stromwechseln) in der Minute zugeführt wird u. s. w.

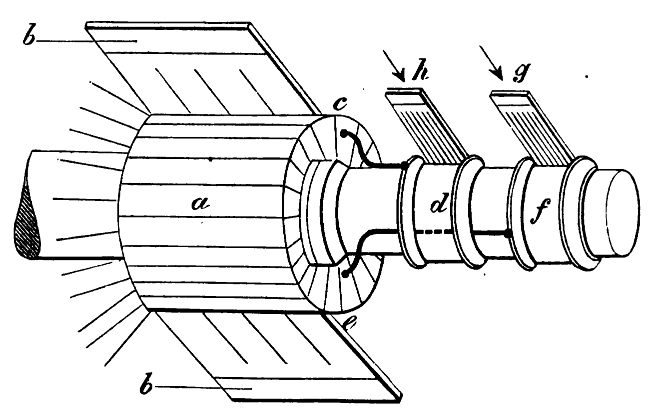


Fig. 158. Kollektor nach Helios.

3. Bei der letzteren Stromführung (Wechselstrom) durch die Bürsten *g* und *h* kann die Nebenschlussmaschine nicht nur zur Kraftübertragung dienen, sondern auch Gleichstrom an den Bürsten *b b* abgeben.

150. Die Bürsten (Federn, Schleifer, Pinsel). Bürstenkonstruktionen:

1. Zwei oder mehrere Lagen von nebeneinanderliegenden, an einem Ende zusammengelötheten oder gedrillten Drähten, Fig. 159.

2. Mehrere übereinandergelegte, an dem einen Ende verlöthete, an dem anderen Ende abgeschrägte und schräg auf den Kollektor aufgelegte Metallbleche (Kupfer-, Messingbleche u. s. w.), Fig. 160.

3. Mehrere übereinandergelegte geschlitzte Bleche, Fig. 161 und Fig. 162.

4. Nebeneinandergelegte Kupferstreifen, Fig. 163.

5. Drahtlagen, Fig. 159, und geschlitzten Kupferstreifen, Fig. 161.

6. Geflochtene Kupferdrähte. Solche Bürsten erzeugen: Siemens & Halske, O. Schulze, Vertreter der deutschen Edisongesellschaft für Strassburg, Koch in Hohemlimburg in Westphalen u. A.

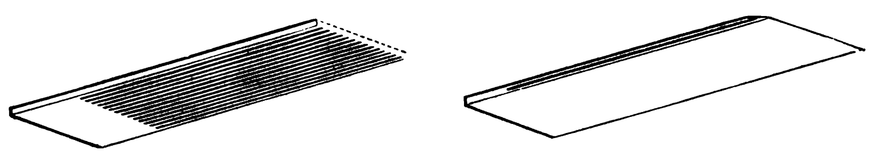


Fig. 159. Draht-Bürste. Fig. 160. Blech-Bürste.

Diese Bürsten schleifen vollkommen geräuschlos und nützen den Kollektor ganz unbedeutend ab.

7. Feinkörnige gutleitende Kohle (Forbes). Kohlenbürsten polieren den Kollektor ohne denselben abzunützen. Solche Bürsten erzeugen:

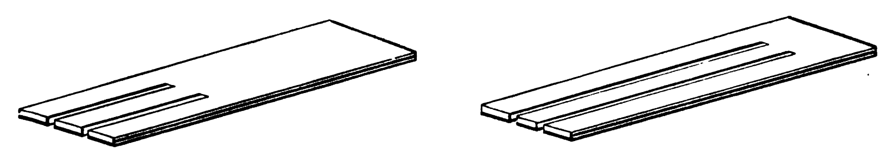


Fig. 161. Geschlitzte Blech-Bürsten. Fig. 162.

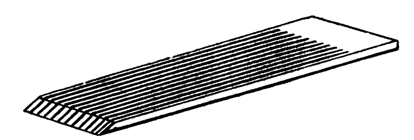


Fig. 163. Blechstreifen-Bürste.

C. Schwiewindt in Neurode (Westphalen), Aktiengesellschaft für Fabrikation von Kohlenstiften vorm. H. Hardtmuth & Co. in Ratibor (Oberschlesien), Gebrüder Siemens & Co. in Charlottenburg u. A. Bei Maschinen mit niederer Spannung und hoher Stromstärke sind Kohlenbürsten ausgeschlossen.

8. Metallscheiben (umlaufende Bürsten nach Gramme, W. Thomson, C. F. Varley und Anderen).

Bezüglich der Bürsten ist weiteres zu bemerken:

Die Bürsten müssen auf die geringste Funkenbildung eingestellt werden, deshalb verschiebbar angebracht sein und bei zweipoligen Maschinen ein-

ander diametral gegenüber liegen, bei mehrpoligen Maschinen einen bestimmten Winkel mit einander einschließen. Es empfielt sich, die Kollektorlamellen oder die Kollektorbüchse mit Zahlen zu versehen, so dass die gegenüber- (zweipolige Maschine) oder nebeneinander- (mehrpolige Maschine) liegenden Bürsten immer auf denselben Zahlen stehen, weil man sonst den Abstand zwischen den Bürsten messen und gleichmachen oder die Bürsten so einstellen muss, dass die Anzahl der zwischen denselben angeordneten Lamellen auf beiden Seiten dieselbe ist oder dass die Bürsten gleich weit aus den Haltern hervorragen. Die Berührung zwischen den Bürsten und den Kollektorlamellen muss vollkommen und metallisch sein; die Größe der Berührungsflächen ist durch die Stromverhältnisse gegeben. Vor Ingangsetzung der Maschine müssen die Bürsten abgeschmirgelt, richtig eingestellt und aufgelegt werden. Neu abgeschrägte Bürsten, welche der Krümmung des Kollektors nicht genügend angepasst sind, müssen solange bei Leerlauf der Maschine schleifen, bis

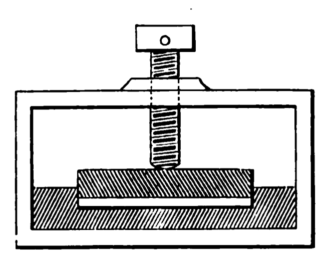


Fig. 164. Bürsten-Kluppe.

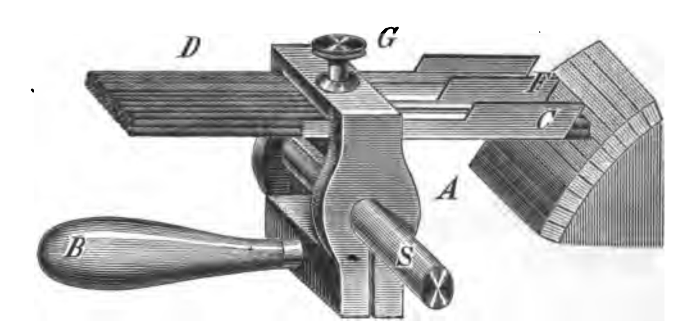


Fig. 165. Bürstenvorrichtung sammt Kollektor-Lamellen.

sie sich vollkommen an den Kollektor angelegt haben. Sind bei einer Maschine mit nur 2 Bürsten Verstellungen derselben während des Ganges unvermeidlich, so müssen dieselben äußerst vorsichtig vorgenommen werden, damit keine Stromunterbrechungen stattfinden können. Tangential anliegende Bürsten sollen beim ersten Gebrauch nicht mehr als 5 *mm* über die Berührungsfläche zwischen Bürste und Kollektor hervorragen. Ist die Bürste auf der einen Seite schadhaft geworden, so kann dieselbe gewendet werden.

Die eiserne Bürstenkluppe in Fig. 164 dient dazu, die auf beiden Seiten unbrauchbar gewordenen Bürsten abzuschneiden; ähnliche Kluppen werden bei schrägliegenden Bürsten verwendet.

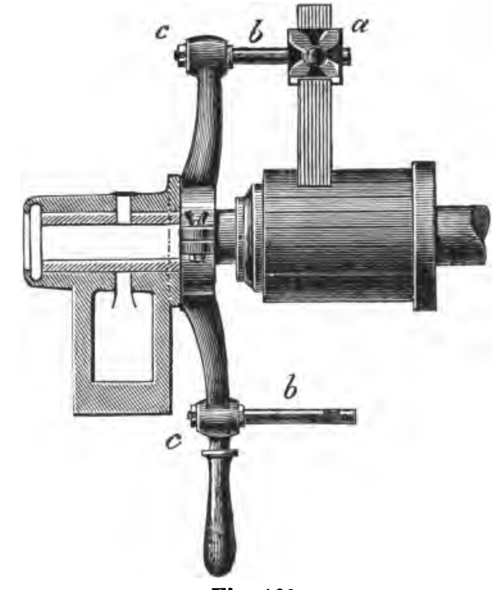


Fig. 166.
Bürstenvorrichtung sammt Kollektor und Lager.

151. Die Einstellung der Bürsten besorgen:

1. Die Bürstenhalter. Fig. 165 stellt den Bürstenhalter von O. Schulze dar. Die geflochtene Bürste *D* befindet sich zwischen Blechen und wird durch die Schraube *G* festgeklemmt.

2. Die Bolzen (Bürstenstifte) sind Metallzapfen, welche die Bürstenhalter tragen. Durch die Schraube *B*, Fig. 165, werden der Schlitz des Bürstenhalters verengt, der letztere an den Bürstenstift *S* gedrückt, sowie die Lage und der Druck der Bürsten gegen den Kollektor beliebig geändert.

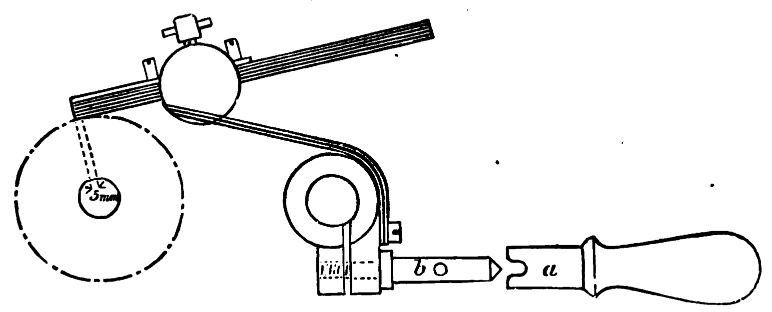


Fig. 167. Bürstenvorrichtung nach Siemens & Halske.

3. Der Bürstenhebel *cc* in Fig. 166 trägt die Bolzen *b b* sammt den Bürstenhaltern und den Bürsten; derselbe gestattet die Verstellung der Bürsten entweder in gewissen Grenzen oder um den ganzen Umfang des Stromsammlers.

Die Berührung zwischen Bürsten, Bürstenstift und dem äußeren Stromkreise muss vollkommen metallisch und anliegend, die Isolation

des Bürstenstiftes sammt des Halters und der Bürsten von dem Bürstenhebel vollständig sein.

Fig. 167 stellt eine Bürstenvorrichtung nach Siemens & Halske dar.

152. Feldmagnete. Die Feldmagnete der dynamo-elektrischen Maschinen sind Elektromagnete der verschiedensten Formen.

Das beste Material für die Eisenkerne der Feldmagnete sind Stahlguss- und Schmiedeeisen, das billigste Gusseisen; die magnetischen Leitungsfähigkeiten der genannten Eisensorten verhalten sich annähernd wie 3 : 2, die Eisenquerschnitte wie 2 : 3.

Das magnetische Feld der Elektromagnete soll bei geringsten Kosten ein stärkstes sein.

Die wichtigsten Eigenschaften des Eisenkernes der Elektromagnete sind:

1. Der Eisenkern soll voll und nicht hohl sein.

2. Die Magnete sollen möglichst viel Eisen enthalten.

3. Das Eisen soll sehr weich sein, weil weiches Eisen die meisten Kraftlinien aufzunehmen vermag.

4. Der Widerstand des magnetischen Stromkreises muss ein Kleinster sein. Zur Erreichung dieser Eigenschaften tragen bei:

a) Ein großer Querschnitt des Eisens.

b) Ein kleinster Weg der Kraftlinien; diese Eigenschaft bedingt den Bau von Maschinen mit nur einem magnetischen Stromkreise.

c) Die Theile der Feldmagnete (der Kern, das Joch und das Polstück) sollen ein Ganzes bilden. Sind abgesonderte Polansätze (Polschuhe, Poltheile, Polstücke) nicht zu vermeiden, so müssen dieselben aus weichstem Eisen bestehen und die Verbindungsflächen einander vollkommen angepasst werden.

d) Der Abstand zwischen dem Polschuhe und dem Eisenkerne des Ankers muss ein kleinster sein.

Die Luftschichten und das Kupfer zwischen dem Polschuhe und dem Ankereisen setzen den magnetischen Kraftlinien beinahe denselben Widerstand entgegen; sei die magnetische Durchlässigkeit (Permeabilität) der Luft bezüglich der Kraftlinien = 1, so ist die magnetische Durchlässigkeit der verschiedensten Eisensorten 5 bis 2000. Zwischen 0 und 4000 Kraftlinien für ein cm^2 kann man die Permeabilität des weichen, gut ausgeglühten Eisens als konstant ansehen.

5. Der kreisförmige Querschnitt ist der beste, weil

a) das Kupfergewicht der Magnete bei gleicher Windungszahl einen kleinsten Wert hat,

b) der Eisenquerschnitt bei derselben Windungszahl am größten ist,
c) das Wickeln der Spulen am bequemsten ausführbar erscheint und
d) die Streuung der Kraftlinien am geringsten wird.

6. Die magnetische Wirkung der Feldmagnete muss die des Ankers überwiegen, wenn nicht Funkenbildung oder Bürstenverschiebung eintreten soll.

7. Scharfe Kanten und Ecken an den Magneten, insbesondere an den Polschuhen sind unzulässig, weil sonst das magnetische Feld ungleichmäßig wird und ein Streuen der Kraftlinien stattfindet.

8. Die Richtung der Körnung des Eisens soll in die Richtung der Kraftlinien fallen.

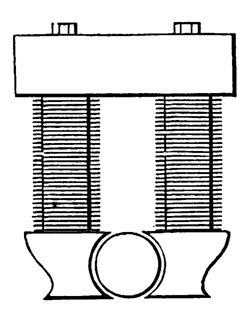


Fig. 168. Edison-Hopkinson Magnetform.

9. Die Magnetschenkel sollen so gegossen werden, dass die Polschuhe den untersten Raum der Form ausfüllen, weil die Dichte des Eisens an diesem Theile des Magnetes der Streuung der Kraftlinien entgegenwirkt.

10. Das Abkühlen der Gusständer darf nicht durch Bespritzen mit Wasser beschleunigt werden.

11. Falls die Magnetschenkel mit den Polschuhen auf die eiserne Lagerplatte aufgebaut sind, muss man dieselben durch Zwischenlegung von Messing, Zink oder sonstige unmagnetische Metallmassen von der letzteren fern halten, weil sonst die Kraftlinien durch den Körper des Maschinengestelles übertreten; selbst dann lässt sich nachweisen, dass ein bedeutender Verlust an Kraftlinien stattfindet.

153. Die Formen der Feldmagnete zerfallen in drei Gruppen. Für die Beurtheilung der Formen der Feldmagnete (Elektromagnete) sind die zuletzt aufgestellten Haupteigenschaften derselben bestimmend.

154. Gruppe I. Die Form nach Kapp, Siemens & Halske, Fig. 169. Die neue Form der letzten Firma hat abgerundete Polschuhe mit größerem Eisenquerschnitte, so dass die Streuung der Kraftlinien ein Minimum ist.

Die Form nach Thomas Alva Edison (Menlopark bei New-York, 1879); diese Maschinen haben entweder zwei Magnetschenkel, wie die Form von Wilde oder zwei vielfache Magnetschenkel (mehrere Magnetschenkel mit gemeinsamen Polschuhen).

Die Maschine nach Edison-Hopkinson besitzt kurze Magnetschenkel; Compagnie Continental Edison und Société

electrique Edison in Paris (1883 in Wien ausgestellt); Allgemeine Elektricitätsgesellschaft in Berlin (Wien, 1888, Jubiläums-Gewerbe-Ausstellung) verwenden sämmtlich auch Magnetkörper dieser Form.

Die Maschine nach Edison-Hopkinson unterscheidet sich von anderen Maschinen vortheilhaft durch sehr starke Magnetschenkel und einen kürzeren Weg der Kraftlinien.

Franz Kröttlinger in Wien baute Edisonmaschinen, deren Polschuhe aus Gusseisen bestanden und, sowie in den Maschinen von Fein & Schwerd, den Ring auch auf der inneren Seite umfassten.

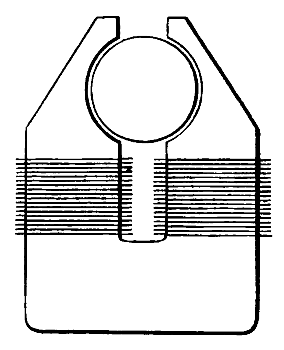


Fig. 169. Magnetform nach Siemens & Halske.

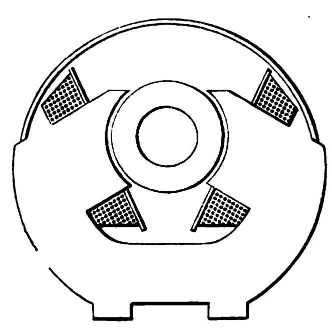


Fig. 170. Magnetform nach Fein.

Der Gramme'sche Anker von Desmond G. Fitzgerald, ist von einem, aus drei Theilen bestehenden, Elektromagnet umgeben.

Die Form nach Silvanus P. Thompson erhält nur eine Magnetbewickelung; der Weg der Kraftlinien in den Feldmagneten ist ein kleinster.

Die Form nach Sawoyer; Lontin; Gramme, Vereinigte Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft vormals B. Egger & Co.; Österr. Schuckert-Werke vormals Kremenezky, Mayer & Co.; Deckert & Homolka; Cabella („Technomasio"); Paterson & Cooper; F. Křzik, Prag-Karolinenthal (mit elliptischem Querschnitte der Magnetschenkel; diese Maschinen besorgten einen Theil der elektrischen Beleuchtung anlässlich der Jubiläums-Gewerbe-Ausstellung im Jahre 1888 in Wien).

Die Form nach Fein in Stuttgart, Fig. 170, mit einwärts gerichteten Polen.

Die Form nach Jürgensen (Junger's mechanisches Etablissement in Kopenhagen, 1881 in Paris ausgestellt).

Die Form nach A. Th. Edelmann (1878, München); diese Maschinen sind hauptsächlich für Versuchszweke bestimmt und gestatten verschiedene Schaltungen der Ankerdrähte. Die Magnetwickelung ist so angeordnet, dass die Anzahl der Lagen, von den Polschuhen aus gesehen, abnimmt.

Die Form nach Silvanus P. Thompson (1886), Goldon und Trotter.

Maschinen mit einer Wickelung werden weiters gebaut nach Schorch in Darmstadt; Kennedy in Glasgow; Immish; Statter & Co.

Die Form nach Jones (Greenwood & Batley, Leeds). Bei der neueren Bogenlichtmaschine nach Edison[1]) sind die Elektromagnete horizontal nebeneinander, bei der Maschine nach Jones (1881) in Paris ausgestellt) vertikal übereinander befestigt.

Die Maschinen mit der in Fig. 169 wiedergegebenen Form (insbesondere kreisförmigen und starken Querschnitt des Magneteisens, kürzesten Weg der Kraftlinien und abgerundete Polschuhe vorausgesetzt) sind am einfachsten und billigsten herzustellen und für Maschinen bis zu einer Leistung von 100000 Waat vorzüglich geeignet.

155. Gruppe II. Die Form nach Siemens & Halske (1872), in Paris ausgestellt 1881), Fig. 171; Maxim (United States Electric Light Compagny); Gebrüder Naglo in Berlin; Heinrich in London besteht aus schmiedeeisernen Lamellen, hat Folgepole (zwei gleichnamige Pole liegen nebeneinander) und zwei magnetische Stromkreise. Der Querschnitt des Magneteisens war unzulänglich. Das liegende Modell dieser Maschine bauten Siemens & Halske (1876); Schwerd & Scharnweber (Elektrotechnische Fabrik Cannstatt in Württemberg); Schorch & Co. in Rheydt (Filiale Kiel).

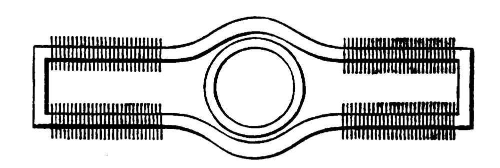


Fig. 171.
Magnetform nach Siemens & Halske.

Die Form nach Crompton - Kapp; Paterson & Cooper. Zwei prismatische Eisenplatten, welche in der Mitte ausgewölbt sind, werden durch zwei Mittelstücke (Joche) mit einander verbunden. Die Zahl der Verbindungsflächen beträgt 2×2, der Eisenquerschnitt der Magnete ist zureichend.

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1891 Seite 117.

Die Form nach Forbes, Fig. 172, zeichnet sich durch besonders kräftige Magnetschenkel aus und hat zwei Verbindungsflächen. Die Wickelung ist so angebracht, dass sie den Anker unmittelbar magnetisiert.

Die Form nach Edward Weston in Newark (New Jersey in Nordamerika), Fig. 173; Crompton 1884; Paterson & Cooper („Phönix Dynamo"); Vereinigte Elektricitäts-Actien-Gesellschaft vormals B. Egger & Co. in Wien und Budapest; Gebrüder Naglo in Berlin.

Diese Maschinen stammen aus dem Jahre 1877 und erhielten 1881 die in der Fig. 173 dargestellte Form. Das Eisengerüst der Maschine hat einen sehr starken Bau.

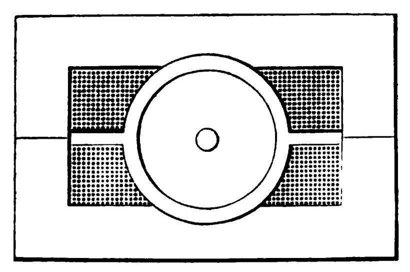


Fig. 172. Magnetform nach Forbes.

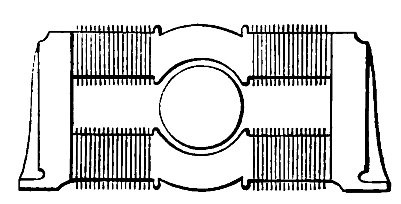


Fig. 173. Magnetform nach Weston.

Die Form nach Mac Tighe; Joel; Mather & Platt; Hopkinson (Manchester-Maschine), Clarke, Muirhead & Co. (Westminstermaschine); Blakey, Emott & Co.; Sprague; Österr. Schuckert-Werke vormals Kremenezky, Mayer & Co. in Wien, I. B., Fig. 93. Die Magnetwickelung befindet sich auf zwei senkrecht stehenden Magnetkernen aus Schmiedeeisen, welche oben und unten durch gusseiserne Poltheile mit einander verbunden sind. Diese Maschinen haben zwei magnetische Stromkreise und vier Verbindungsflächen.

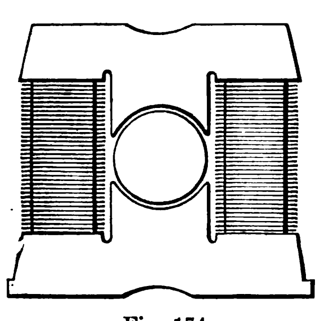


Fig. 174.
Magnetform nach Brown.

Die Tighe-Maschinen besitzen Folgepole und die verschiedensten Eisenquerschnitte der Magnetschenkel.

Die Form nach O. E. Brown (Oerlikon) und O. E. Brown & Boveri, Fig. 174, unterscheidet sich von der letzten Form hauptsächlich durch einen sehr großen Eisenquerschnitt, also auch einen sehr großen Querschnitt der magnetischen Stromkreise.

Die Form nach Elwell Parker (Commercial-road Works, Wolverhampton, 1885 ausgestellt in der Investions-Exhibition in London). Die Polschuhe sind in den Magneten befestigt, die Zahl der Verbindungsflächen beträgt sechs, der Eisenquerschnitt ist ungenügend. Die vier Magnetkerne bestehen aus Schmiedeeisen, die Polschuhe aus Gusseisen.

Die Form nach Griscom, und Gisbert Kapp (W. H. Allen & Co., Lambeth, London, früher bei R. E. Crompton & Co., gegenwärtig General-Sekretär des Verbandes Deutscher Elektrotechniker etc.), mit kreisförmig angeordneten Magneten.

Die Form nach Emil Buergin in Basel (Firma Buergin & Alioth); R. E. Crompton & Co. in Chelmsford (1884); A. de Méritens in Paris (1882).

Die erste Buerginmaschine wurde im Atelier Turretini in Genf (1878) gebaut.

Bei demselben Durchmesser des Ankers sind bei dieser Magnetform die Wege der Kraftlinien kürzer als in der Form nach Weston, Fig. 183.

Die Form nach Gramme (1872); Maison Breguet in Paris; Heilmann, Ducommun & Steinlein in Mühlhausen; Sautter, Lemonier & Co. in Paris; vormals Brückner, Ross & Consorten in Wien; Comp. electrique in Paris; Société Gramme in Paris; Société de l'Eclairage electrique in Paris; C. & E. Fein in Stuttgart; Cabella (Institut Tecnomasio in Mailand).

In den früheren Maschinen ist die Welle senkrecht gegen die Magnetschenkel, in dieser Maschine in der Richtung derselben gelagert. In der Mitte tragen die Schenkel die beiden Polansätze, welche den Anker halbkreisförmig umfassen, so dass die Abstände zwischen den Polen beiläufig je $^3/_8$ ihrer Wölbung (Bohrung) betragen.

Die Form nach Ball in Philadelphia. Die Polstücke sind gegeneinander versetzt. Vier Spulen erzeugen durch ihre Anordnung Folgepole. Diese Maschine besitzt zwei Gramme'sche Ringe und zwei Kollektoren.

Die Form nach Gramme. Der Weg der Kraftlinien in den Feldmagneten ist zu lang.

Die Form nach Hochhausen. Der Weg mit Kraftlinien in den Magneten ist zu lang und der Querschnitt der Joche zu schwach.

Die Form nach van de Poele (1884 in Philadelphia ausgestellt) besitzt die Nachtheile der letzten Form.

Die Form nach Thomson & Houston (1891 in Frankfurt a. M. ausgestellt). Die Kerne der Feldmagnete sind hohl, der Anker ist kugelförmig.

Die Form nach Kennedy. Die starken Kerne bestehen aus Schmiedeeisen.

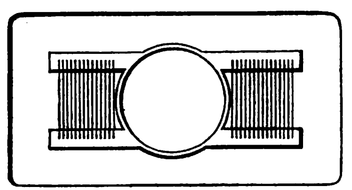


Fig. 175. Magnetform nach Kapp.

Die Form nach Kapp, Fig. 175, zählt vier Pole (zwei Pole sind hervorragend, die anderen zwei befinden sich zwischen denselben), Ganz & Co. („Gnom-Maschine"), Lahmeyer, Wenström.

Die Form nach Mac Tighe (1882), Stafford und Eaves.

Zu den Magnetformen der II. Gruppe zählen weiters die Magnetformen der mehrpoligen Maschinen (Gramme, Siemens).

Die Form nach Gramme (1878), Fig. 176, fand Verwendung bei der ersten praktisch ausgeführten vierpoligen Maschine, Com-

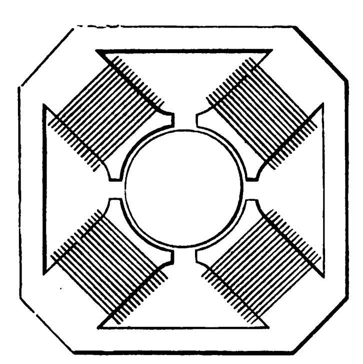


Fig. 176. Magnetform nach Gramme.

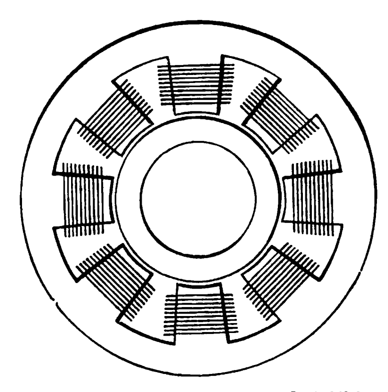


Fig. 177. Magnetform nach Wilde.

pagnie électrique (1883), A. de Mèritens, Andrews & Co. in Glasgow, R. Alioth & Co. in Basel (4 Verbindungsflächen, Magneteisen und Polschuhe sind bewickelt), William Baxter[1]) in Baltimore (Baxter Electrique Compagnie).

Die Form nach Wilde, Fig. 177, Gramme, Vereinigte Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft B. Egger & Co. in Wien und Budapest (1890, vier- und sechspolige Maschinen), Gérard

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1891, Seite 101.

(Gleichstrommaschine mit Polanker), Elwell-Parker (Wechselstrommaschine mit Cylinderring, der Armaturkern bestand zuerst aus Eisendraht, welcher durch Umspinnung isoliert ist).

Die Form nach Meuron & Cuènod, System Thury in Genf, Fig. 178, sechspolige Trommelmaschine.

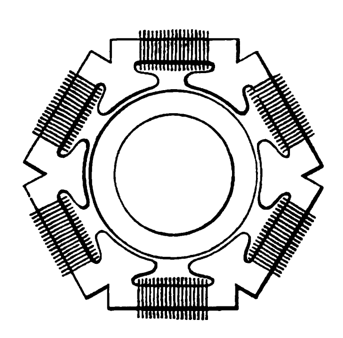


Fig. 178. Magnetform nach Thury.

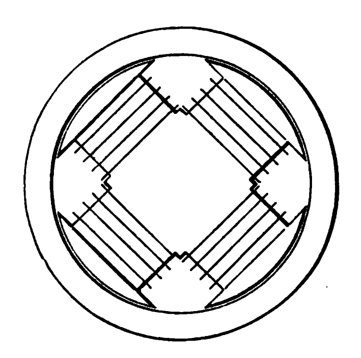


Fig. 179. Magnetform nach Siemens & Halske (Innenpolmaschine).

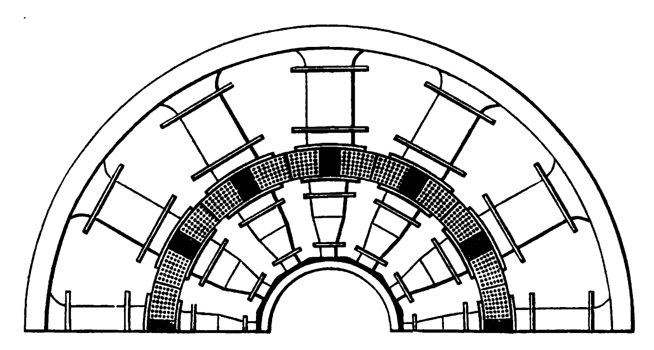


Fig. 180. Magnetform nach Siemens & Halske (Innen- und Außen-Polmaschine).

Die Form nach Siemens & Halske, Fig 179, Maschine mit Innenpolen, der Ring rotiert außerhalb der Magnetschenkel. Für sehr große Maschinen mit höchster Leistungsfähigkeit ist die Magnet- und Maschinenform nach Siemens & Halske, Fig. 180, berechnet; letztere Maschine war im Jahre 1883 in Wien ausgestellt. Innerhalb und außerhalb des rotierenden Ankers befinden sich Magnetpole (Innen- und Außenpolmaschine), S. Schuckert in Nürnberg, Ganz & Co. in Budapest (1883 in Wien ausgestellt).

Die Maschinen der letzten Firma sind Wechselstromerzeuger. Die Magnetschenkel werden durch eine Gleichstrommaschine erregt. Die

größte dieser Maschinen leistet 380.000 Watt, bei 5000 Volt und 125 Touren, hat 40 Pole und wird direkt angetrieben.

Stanley-Westingshouse (Pennsylvanien), Lontin 1878 in Paris ausgestellt), Kingdon, Jablochkoff (1878). Auch die vier letzten Maschinen erzeugen Wechselstrom.

156. Gruppe III. Die Form nach Brush, Fig. 181, Sigmund Schuckert in Nürnberg (1878), B. Egger & Co. in Wien und Budapest, Helios in Ehrenfeld-Köln, Maschinen-Aktien-Gesellschaft L. Schwarzkopff in Berlin, Görlitzer Maschinenbauanstalt und Eisengießerei, Deckert & Homolka in Wien, Schuckert-Mordey (Anglo American Brush Electric Light Corporation), Spiecker & Co. (Commanditgesellschaft für elektrische Beleuchtung in Köln), Alphons Gravier (Kuksz, Lüdke & Grether in Warschau), Gebrüder Fraas in Wunsiedel (Bayern), Robert Moessen in Wien.

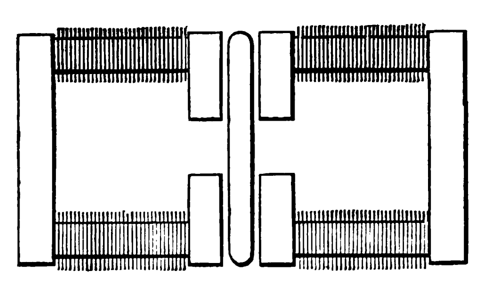


Fig. 181. Magnetform nach Brush.

Das magnetische Feld dieser Maschinen ist aus zwei magnetischen Stromkreisen zusammengesetzt, der Anker derselben war zumeist mit der offenen Brush-Wickelung versehen. In neuerer Zeit kommen häufig Flachringwickelungen vor. Die Zahl der Magnetpaare beträgt entweder zwei, vier, sechs u. s. w.

Man kann sich diese Maschinen aus der Gramme'schen Maschine, Fig. 171, dadurch entstanden denken, dass man die Welle um 90° dreht und die Folge- (Doppel-) Pole der letzteren Maschine in vier getrennte Pole theilt. Das erste amerikanische Patent von Brush datiert aus dem Jahre 1877.

In diese Gruppe gehören weiters mehrpolige Maschinen mit Scheibenanker: H. Wilde (Manchester, 1867); diese Maschine erinnert an die mehrpolige Maschine nach Soren-Hjorth (Kopenhagen, 1855) mit Stahl- und Elektromagneten, Wallace Farmer (1876), F. von Hefner-Alteneck (1881, die Armaturspulen enthalten kein Eisen), J. Hopkinson und A. Muirhead, W. Thomson und Ziani di Ferranti, Vereinigte Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft vormals B. Egger & Co. Wien und Budapest (1885, Bollmann); der Anker enthält kein Eisen

und besteht aus Kupferstreifen, Jehl und Rupp,[1]) Th. A. Edison (1881), Desroziers (Paris).

Wechselstrommaschinen mit Scheibenanker: Siemens & Halske (1878), Lachausée & Lambotte in Lüttich (1881 in Paris von der Brüsseler Compagnie Générale Belge de Lumière Electrique ausgestellt); die Armatur steht fest, das Magnetsystem dreht sich, Chertemps-Danden, Gérard (1883 in Wien von der Société anonyme d'Electricité aus Paris ausgestellt); zur Erregung des Magnetismus dient eine besondere Maschine, J. Hopkinson und A. Muirhead, Ferranti-Thomson (1883 in Wien ausgestellt); die Maschine aus dem Jahre 1884 leistet 5000 Glühlampen von je 200 Volt und 0·33 Ampère, Gordon (die Feldmagnete rotieren), Matthews, Alexander Klimenko in Charkow (1883 von der Compagnie Electrique in Wien ausgestellt), Mordey, Brush (Brush Electrique Compagny, Leistung: 60.000 Watt bei 2000 Volt).

Die Wechselstrommaschine mit Flachringanker nach Kapp; die größere Type hat eine Leistung von 120.000 Watt.

Die Form nach Marcel Deprez, mit zwei Ankern; je zwei ungleichnamige Pole liegen einander gegenüber.

Die Form nach Elwell Parker (Commercial-road-Works, Wolverhampton, England).

Die Form nach Lord Elphinstone & Vincent[2]) in London (1882); innerhalb und außerhalb der rotierenden Trommel befinden sich Elektromagnete (Maschine mit Innen- und Außenpolen). Im Jahre 1883 leistete eine dieser Maschinen, in Wien ausgestellt, die nach ihren Abmessungen kaum zu erwartende elektrische Arbeit von 20.000 Watt bei 1000 Touren in der Minute. Im äußeren Stromkreise dieser Nebenschlussmaschine waren 400 Glühlampen System Woodhouse & Rawson zu 16—20 englischen Normalkerzen eingeschaltet.

III. Kapitel.

Die Schaltung, Zusammenschaltung und Regelung der elektrischen Maschinen und Motoren.

157. Bezeichnungen für die Betriebsgrößen.

Bedeutet E die elektromotorische Kraft, gemessen in Volt, J die Stromstärke im Anker, gemessen in Ampère,

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik Wien, 1887, Seite 393.

[2]) Borns, Elektrotechnische Zeitschrift 1883, Seite 222.

e die Klemmenspannung, gemessen in Volt,
i die Stromstärke im äußeren Stromkreise, gemessen in Ampère,

so sind EJ der gesammte elektrische Effekt, gemessen in Voltampère (Watt),
ei der elektrische Effekt des äußeren Stromkreises, gemessen in Voltampère,
$G_e = \frac{e.i}{E.J}$ das elektrische Güteverhältnis, eine Zahl,
$P.S.$ die Anzahl der mechanischen Pferdekräfte,
$G_m = \frac{e\,i}{736} \times \frac{1}{P\,S}$ das mechanische Güteverhältnis.

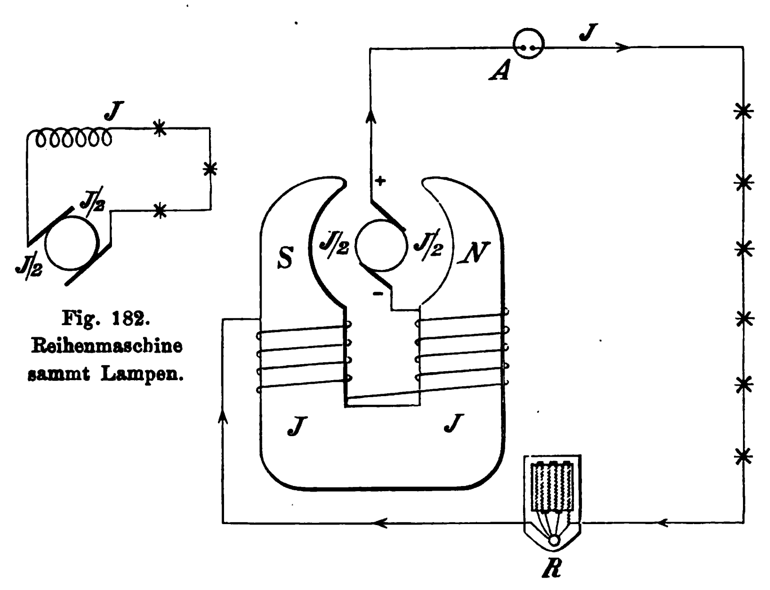


Fig. 182. Reihenmaschine sammt Lampen.

Fig. 183. Reihenmaschine sammt Rheostat *R*, Ampèremeter *J* und Lampen.

158. Reihenmaschine (Serienmaschine, Hauptstrommaschine), Siehe Fig. 152.

Die beiden Schemen, Fig. 182 und 183 zeigen die Schaltung der Reihenmaschine; bei dieser Maschine sind die beiden Ankerhälften, die Magnete und der äußere Stromkreis hintereinander geschaltet. Ist der Ankerstrom gleich J, so muss die Stromstärke in jeder Ankerhälfte gleich $\frac{J}{2}$, in den Magneten und im äußeren Strom-

kreise gleich J sein. Der Regulierwiderstand R und das Ampèremeter A sind in den Außenstrom eingeschaltet.

Beispiel: Wie groß ist der Querschnitt des Ankerdrahtes einer Reihenmaschine für 12 Ampère, wenn die zulässige Beanspruchung des Ankerdrahtes 4 Ampère für 1 mm^2 beträgt?

In diesem Falle fließen durch jede Ankerhälfte 6 Ampère und es muss deshalb der Querschnitt des Ankerdrahtes $\frac{6}{4} = 1{\cdot}5\ mm^2$ sein.

Beispiel: Welcher Querschnitt der Magnetdrähte entspricht bei einer Beanspruchung derselben von 2 Ampère für 1 mm^2 einer Reihenmaschine mit einem Außenstrome von 12 Ampère?

Nach Annahme sind für 1 mm^2 Querschnitt der Magnetdrähte 2 Ampère als Stromstärke zulässig. Der Querschnitt muss deshalb für 6×2 Ampère, $6 \times 1\ mm^2$ sein.

Beispiel: Die Leistung einer Reihenmaschine sei 10 Ampère bei 250 Volt; wie viel Bogenlampen mit je 5 Ohm Widerstand können in den Stromkreis derselben eingeschaltet werden?

Da die Spannung 250 Volt und die Stromstärke 10 Ampére betragen, so sind der gesammte Widerstand nach dem Ohm'schen Gesetze

$$W = \frac{E}{J}\ \frac{250}{10} = 25 \text{ Ohm},$$

folglich die Anzahl der Lampen $= \frac{25}{5} = 2$ und die auf eine Lampe entfallende Spannung $= \frac{250}{5} = 50$ Volt.

Zu dem letzten Beispiele sei bemerkt, dass Bogenlampen immer ein bestimmter, sogenannter Beruhigungswiderstand (hier gleichzeitig Regulierwiderstand R) vorgeschaltet wird, wenn dieselben keinen Lichtschwankungen unterworfen sein sollen; dieser Widerstand und der Widerstand des Leitungssystems werden in der Rechnung durch eines oder beide der folgenden Mittel berücksichtigt:

a) Die Erhöhung der Spannung der Maschine durch die Tourenzahl. Der Beruhigungs- oder Vorschaltwiderstand sei gleich 2 Ohm; dieser verbraucht bei 10 Ampère nach dem Ohm'schen Gesetze $V = J \times \times W = 10 \times 2 = 20$ Volt.

Ein Widerstand der Leitungen von 0·3 Ohm beispielsweise bedingt einen Spannungsverlust

$$V = J \,.\, W = 10 \,.\, 0{\cdot}3 = 3 \text{ Volt}.$$

Somit ergibt die vollständig durchgeführte Rechnung eine erforderliche Maschinenspannung von $250 + 20 + 3 = 273$ Volt und einen

Gesammtwiderstand von 25 + 2 + 0·3 = 27·2 Ohm; aus den letzteren Größen muss sich nach dem Ohm'schen Gesetze die normale Betriebsstromstärke von 10 Ampère ergeben:

$$J = \frac{E}{W} = \frac{273}{27 \cdot 3} = 10 \text{ Ampère}.$$

b) Die Verkleinerung des Widerstandes (der Lampenzahl). Bei 250 Volt und 10 Ampère Maschinenleistung erfüllen das Ohm'sche Gesetz:

$$W = \frac{E}{J} = \frac{250}{10} = 25 \text{ Ohm Widerstand.}$$

Schaltet man nur 4 Lampen (20 Ohm in den Stromkreis ein, so müssen der Regulier- und der Leitungswiderstand zusammen 5 Ohm betragen.

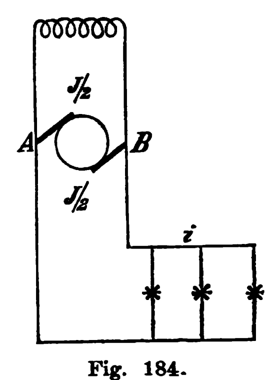


Fig. 184. Nebenschlussschaltung.

159. Nebenschlussmaschine (Nebenstrom- oder Shuntmaschine), Fig. 153 und 184 bis 186.

Die vier zwischen den Punkten A und B Fig. 184 bis 186 parallel geschalteten Stromzweige der Nebenschlussmaschine sind:

a) Der Stromzweig durch die eine Ankerhälfte $\frac{J}{2}$.
b) „ „ „ „ zweite „ $\frac{J}{2}$.
c) „ Stromweg durch die Magnete . . . . i_n.
d) „ „ „ den äußeren Stromkreis i.

Der im Anker erzeugte Strom $\frac{J}{2} + \frac{J}{2} = J$ fließt zum Theile durch den äußeren Stromkreis (i), zum Theile durch die Magnete (i_n); es sind deshalb:

$$J = i_n + i,$$
$$i = J - i_n \text{ und}$$
$$i_n = J - i.$$

Die Einschaltung des Magnet-Rheostates R in den Magnetstromkreis kann an einer ganz beliebigen Stelle desselben zwischen den Polen A und B vorgenommen werden; zu den gebräuchlichsten Fällen zählen:

a) Die Schaltung des Rheostates zwischen die Magnetschenkel, Fig. 185.

b) Die Schaltung des Rheostates zwischen ein Ende der Magnetwickelung und einen Pol der Maschine, Fig. 186. Die Schaltung in

Fig. 185 ist praktisch, wenn sich der Rheostat in der Nähe der Maschine befindet; bei dieser Schaltungsweise müssen jedoch zwei Drähte bis zu einem entfernten Orte geführt werden, wenn dort (z. B. auf einem Schaltbrette) der Rheostat aufmontiert ercheinen soll, während die Schaltung in Fig. 186 nur einen Draht erfordert.

Bei der Nebenschlussmaschine wird die Regulierung des magnetischen Feldes (insbesondere Regulierung der Spannung) durch einen in die Magnete eingeschalteten Rheostat besorgt. Bei der Serienmaschine lagen der das magnetische Feld regulierende Widerstand und die Magnete selbst im Hauptstromkreise.

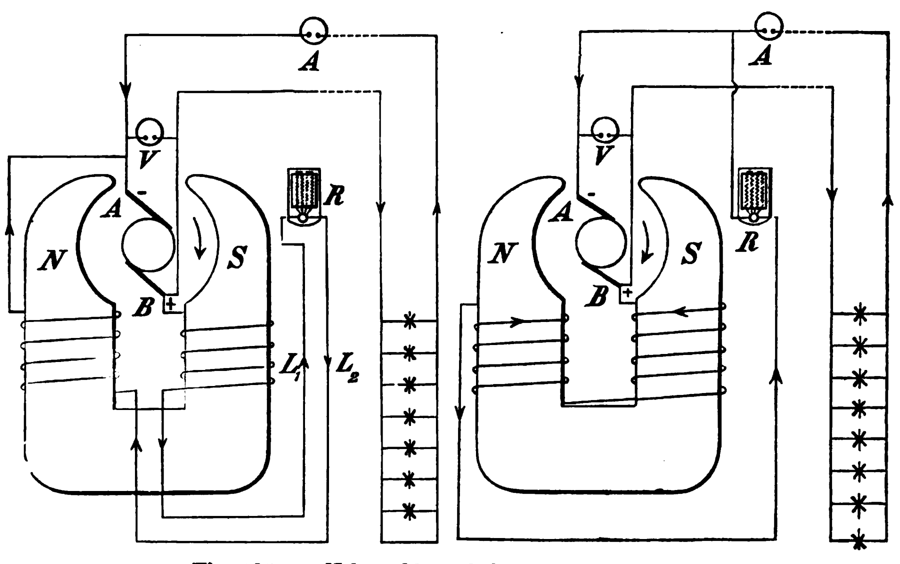


Fig. 185. Nebenschlussschaltungen. Fig. 186.

Beispiel: Es ist der Widerstand der Magnetwickelung einer Nebenschlussmaschine zu berechnen, wenn der Magnetstrom mit 4 Ampère und die Betriebsspannung mit 100 Volt angenommen werden?

$W = \frac{E}{J} = \frac{100}{4} = 25$ Ohm, beträgt der Widerstand der Magnetwickelung.

Beispiel: Welchen Widerstand erhält ein Magnetrheostat, welcher unter den Angaben des letzten Beispieles, die Stärke des magnetischen Feldes auf die Hälfte herabzudrücken vermag, d. h. welcher Widerstand muss in diese Magnetschenkel eingeschaltet werden, wenn die Stromstärke in denselben von 4 auf 2 Ampère herabsinken soll?

$W = \frac{E}{J} = \frac{100}{2} = 50$ Ohm, gleich dem Widerstande der Magnete w_1 sammt dem Magnetrheostatwiderstande w_2.

$$W = w_1 + w_2 = 50 \text{ Ohm},$$
$$W = 25 + w_2 = 50 \text{ „ und}$$
$$w_2 = 50 - 25 = 25 \text{ Ohm}.$$

160. Maschinen mit gemischter oder Verbundwickelung (Doppelschlussmaschinen oder Compoundmaschinen) sind

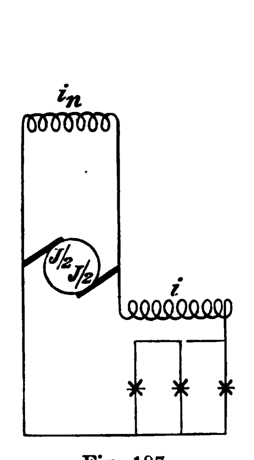


Fig. 187.
Gemischte Schaltung.
Kurzer Nebenschluss.
Einfachstes Schema.

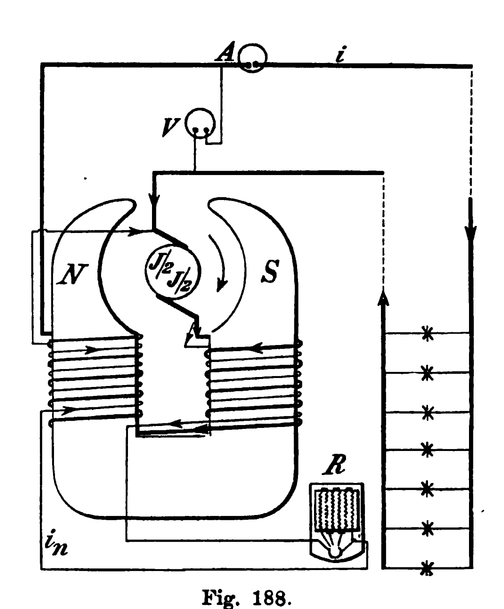


Fig. 188.
Gemischte Schaltung. Kurzer Nebenschluss.

Maschinen, welche mehrere neben-, übereinander oder auf besonderen Kernen angeordnete Wickelungen auf den Magnetschenkeln besitzen; diese Maschinen vermitteln, gleiche Tourenzahl vorausgesetzt, eine Regelung auf gleiche Spannung oder auf gleiche Stromstärke bei ungleichen Lampenzahlen. Sind sämmtliche Lampen nebeneinander (paralell) geschaltet, so ist eine konstante (gleiche) Spannung erforderlich, während bei hintereinander geschalteten Lampen eine Regelung auf gleiche Stromstärke maßgebend ist. Bei übereinander angeordneten Wickelungen befindet sich die Reihenspule gewöhnlich innen.

a) Methode nach Brush (1879). Gemischte Schaltung mit kurzem Nebenschlusse, Fig. 187 und 188.

Durch diese Schaltung wird das magnetische Feld zum Theile von dem Außenstrome (Hauptstrome), zum Theile von der Nebenschlusswickelung erzeugt. Soll die Spannung innerhalb weiter Grenzen gleich erhalten werden, so muss der Nebenschluss aus sehr vielen Windungen eines dünnen Drahtes mit hohem Widerstande bestehen.

b) Methode nach Brush (S. P. Thompson, 1882). Gemischte Schaltung mit langem Nebenschlusse, Fig. 189 und 190.

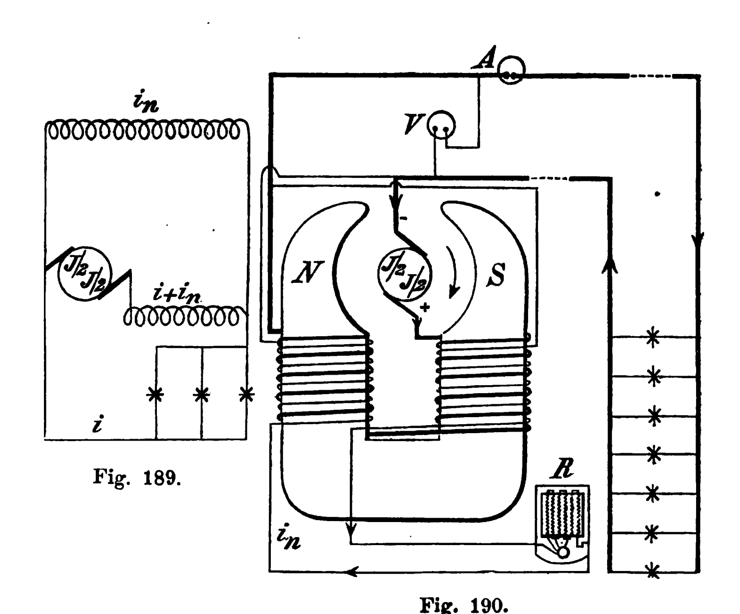


Fig. 189.

Fig. 190.

Die beiden Methoden *a)* und *b)* unterscheiden sich bloß durch den Anschluss der dünnen Wickelung; bei der ersten Methode findet dieser Anschluss geradeso statt, wie bei der Nebenschlussmaschine (an den Bürsten), bei der zweiten Methode liegen die dünnen Windungen im Nebenschlusse zum äußeren Stromkreise. Für die Stromstärken und Querschnitte der Wickelungen der letzten Maschine gelten

für den Anker dieselben Regeln, wie bei den Reihen- und Nebenschlussmaschinen,

bei den dünnen Wickelungen der Magnete die für die Nebenschlusswickelung angegebenen Bestimmungen und

für den Querschnitt der dicken Wickelung die für Reihenspulen maßgebenden Bedingungen.

Nachdem die dicken Windungen in den Hauptstromkreis eingeschaltet sind, ist es selbstverständlich, dass dieselben einen geringen Widerstand (großen Querschnitt) haben müssen, wenn durch dieselben nicht erhebliche Spannungsverluste und starke Erwärmung entstehen sollen

Beispiel: Wie groß ist der Querschnitt der dicken Windungen einer Maschine mit gemischter Wickelung bei einer Beanspruchung von 2 Ampère für 1 mm^2, wenn der Außenstrom 200 Ampère beträgt?

Für 2 Ampère, ist der erforderliche Querschnitt gleich 1 mm^2, also für 100×2 Ampère, $100 \times 1 = 100$ mm^2.

Der Querschnitt $q = \frac{\pi . d^2}{4}$, $\pi = 3{\cdot}1416 \backsim 3$,

$$100 = \frac{3 . d^2}{4}; \; d^2 = \frac{400}{3} \backsim 133 \text{ und}$$

der Durchmesser $d = \sqrt{133} \backsim 11$ mm. Diese Rechnung gibt den kleinsten noch zulässigen Durchmesser der dicken Magnetwickelung an.

161. Weitere Schaltungen für Gleichspannung.

Andere Arten selbstthätiger Regelung auf gleiche Spannung sind:

1. Die Reihenschaltung mit besonderer Erregung nach Marcel Deprez. Diese Schaltung kann bei jeder Reihenmaschine angewendet werden, wenn man die Magnetschenkel derselben mit einer zweiten, in eine eigene Stromquelle (magnetelektrische oder dynamoelektrische Maschine) eingeschalteten Wickelung umgibt.

2. Ayrton und Perry schalten in den Stromkreis einer Reihenmaschine eine magnetelektrische Maschine ein.

162. Schaltungen für gleichbleibende Stromstärke.

1. Die Nebenschlussschaltung mit besonderer Erregung nach M. Deprez.

2. Die Nebenschlussschaltung in Verbindung mit der Erregung durch eine magnetelektrische Maschine nach Perry.

3. Die gemischte Wickelung (Nebenschlussschaltung in Verbindung mit Reihenschaltung) zur Regelung auf gleiche Stromstärke beschrieb zuerst Silvanus P. Thompson im December 1882.

163. Andere Arten der Regelung.

1. Die Handregulatoren zur Erhaltung der gleichen Spannung oder Stromstärke einer Dynamomaschine bestehen aus einem Regulierwiderstande, Fig. 14, I B und § 15 u. 16, welcher in den zu regulierenden Stromkreis eingeschaltet wird.

Nebenschlussrheostate haben gewöhnlich einen hohen Widerstand (rund 10 bis 50 Ohm) und dünne Spiralen von verschiedenen Durchmessern (etwa 0·5 bis 5 *mm*), Hauptstromrheostate einen niederen Widerstand und dicke Spiralen von demselben Durchmesser (von rund 2 *mm* aufwärts). Für die Vertheilung des Widerstandes zwischen den Kontakten sei bei der Nebenschlussmaschine, sowie bei den Maschinen mit gemischter Wickelung, bemerkt, dass sobald der Strom mindestens die Hälfte seiner Intensität (Stromstärke) erreicht hat, in der Regel nur mehr ein geringer Widerstand (abhängig von der Größe der Maschine, 1 bis 10 Ohm) in dem Rheostate eingeschaltet ist, dass also für die empfindliche Regulierung nur wenig Ohm in Betracht kommen; es sind demnach zwischen den letzten Kontakten kleine Widerstände einzuschalten.

Beispiel: Ein Rheostat aus Neusilber sei, wenn er ganz eingeschaltet ist, von 2 Ampère durchflossen; welchen Querschnitt hat der schwächste Draht bei einer Beanspruchung von 2 Ampère für 1 mm^2 (rund 20° C. Erwärmung)?

Lösung: 1 mm^2 (1·2 *mm* Durchmesser).

Beispiel: Welche Stromstärke herrscht in der Magnetwickelung einer Nebenschlussmaschine, wenn der Widerstand des Nebenschlusses 25 Ohm und die Spannung an den Klemmen (Polen) der Maschine 100 Volt betragen?

$$J = \frac{E}{W} = \frac{100}{25} = 4 \text{ Ampère.}$$

Ist der Widerstand der Magnetschenkel 20 Ohm und sollen blos 4 Ampère durch dieselben fließen, so müssen denselben 5 Ohm (im Magnetrheostate) vorgeschaltet werden und der schwächste Draht wäre bei einer Beanspruchung von 2 Ampère für 1 mm^2, 2 mm^2 (1·6 *mm* Durchmesser).

Beispiel: Es ist der Widerstand eines Hauptstromrheostates, welcher in einem Stromkreise von 10 Ampère Spannungsregulierungen bis zu 5 Volt ermöglicht, zu berechnen.

$$W = \frac{E}{J} = \frac{5}{10} = 0{\cdot}5 \text{ Ohm, d. h:}$$

Mit einem Rheostate, dessen Widerstand 0·5 Ohm beträgt, können in dem angenommenen Stromkreise Spannungsregulierungen bis zu 5 Volt erreicht werden.

Beispiel: Wie groß ist der Querschnitt eines Hauptstromrheostates für 100 Ampère bei einer Beanspruchung von 2 Ampère für 1 mm^2?

$$\frac{100}{2} = 50\, mm^2 \text{ (8 mm Durchmesser).}$$

Beispiel: Wie lang muss ein Draht aus Neusilber (specifischer Widerstand gleich 0·3) von 3 *mm* Durchmesser sein, wenn er einen Widerstand von 3 Ohm haben soll?

$$W = c . \frac{l}{7{\cdot}07} \text{ (Siehe I. Buch, Seite 17),}$$

$$3 = 0{\cdot}3 \frac{l}{7{\cdot}07},$$

$$3 \times 7{\cdot}07 = 0{\cdot}3\, l,$$

$$l = \frac{3 . 7{\cdot}07}{3} = 70{\cdot}7\, m.$$

2. Selbstthätige Regulatoren besorgen die Einschaltung verschiedener Widerstände durch Elektromagnete oder Solenoide.

Fig. 191 stellt einen selbstthäthigen Regulator dar, bei welchem ein Solenoid *E* auf einen Eisenkern *K* einwirkt. Die vielen Windungen eines dünnen Drathes *E* sind an die Pole der Maschine anzuschließen.

Der Eisenkern *K* ist sammt einem darauf befestigten Quecksilbergefäße *q* durch die Gewichte *G* und *g* ausbalanciert. Wird die Spannung an der Maschine größer oder kleiner, so senkt oder hebt sich der Eisenkern *K* und es wird durch den Quecksilberkontakt automatisch mehr oder weniger Widerstand in den zu regulierenden Stromkreis eingeschaltet.

Solche Automaten werden von Ganz & Co. in Budapest, der Leipziger Elektricitätsgesellschaft und Anderen[1]) gebaut.

Weitere selbstthätige Regulatoren.

a) Beim selbstthätigen Regulator nach Brush wird der Magnetwiderstand durch einen automatisch zu regulierenden Nebenschluss widerstand, der erforderlichen Spannung entsprechend, verändert.

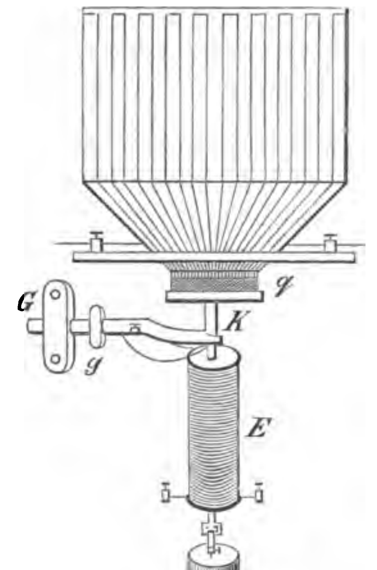


Fig. 191. Selbstthätiger Regulator.

b) Die selbstthätige Regulierung durch automatische Verschiebung der Bürsten wurde durch Maxim, Elihu Thomson, Hochhausen und Statter ausgeführt.

c) Goolden & Trotter wenden zur Regulierung auf gleiche Stromstärke einen zum Anker parallelen magnetischen Nebenschluss an. Die Kraftlinien treten anstatt durch den Anker mehr oder weniger durch einen magnetischen Nebenschluss (eine Eisenmasse) über.

d) Die Regelung der Betriebsmaschine mittels Regelung der

---

[1]) Einen neueren, recht gut regulierenden Automat hat F. Collischon erdacht. Elektrotechnische Zeitschrift, 1897, S. 357.

Dampfzuführung durch den elektrischen Strom (Richardson, Willans, Jamieson).

e) Die Regelung durch Abtheilung der Wickelung. Ein Elektromagnet schaltet einzelne Wickelungsabtheilungen automatisch aus und ein (Brush, Cardew, Deprez).

f) Die dynamoelektrische Regelung; derselben liegt das Dynamometer zu Grunde, dessen Princip bereits erläutert wurde.

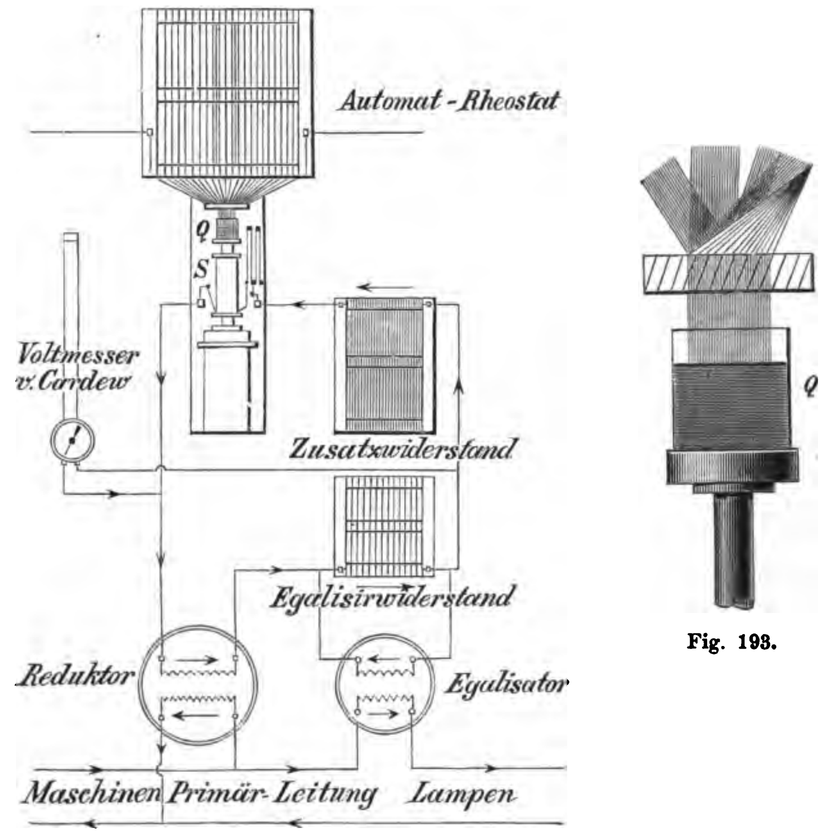


Fig. 193.

Fig. 192. Regulierung der Wechselstrommaschinen.

g) Die Regelung durch gleichmäßigen Dampfdruck auf gleiche Stromstärke. Ein an dem Kessel angebrachtes Ampèremeter zeigt dem Heizer stärkere oder schwächere Feuerung an.

164. Die Regelung der Wechselstrommaschinen.

Die Regelung der Stromstärke oder Spannung von Wechselstrommaschinen besorgen:

1. Hand- und selbstthätige Regulatoren (§ 162); bei den Maschinen mit besonderer Erregung werden dieselben in den Erregerstromkreis eingeschaltet.

Die Firma Ganz & Co. in Budapest verwendet zur Regelung kleiner Aenderungen im Hauptstrome den Widerstandsregulator (Automat-Rheostat) System Blàthy, Fig. 192, welcher die Spannung an den Primärklemmen der Transformatoren gleich erhält. Der Strom für die Regulierungs-Apparate und die Spannungsmesser (Voltmeter) wird in der Centrale mit Dazwischenschaltung von Transformatoren abgezweigt. Ein Transformator (Egalisator) liegt mit seiner sekundären Bewickelung in dem Hauptstrom und überträgt so die Aenderungen desselben.

Der Egalisator hat die Spannung an den Transformatoren

a) zu kontrolieren und

b) gleichzuerhalten.

Ein zweiter Transformator (Reductor) setzt hoch- in niedriggespannte Ströme um.

Fig. 193 stellt das Quecksilbergefäß Q, Fig. 192, mit den Kontaktstäbchen dar. Sobald die Spannung an den Polen des Solenoides S steigt, zieht dasselbe den Eisenkern tiefer in seine Höhlung und schaltet den früher durch das Queksilber kurzgeschlossenen Widerstand ein.

2. Die Anwendung einer veränderlichen Erregung, welche der Erregung durch die gemischte Wickelung von Gleichstrommaschinen ähnlich erscheint. Die Erregung ist entweder dem Hauptstrome oder dem Widerstande des Stromkreises proportional, je nachdem die Regelung auf gleiche Spannung oder Stromstärke erfolgen soll.

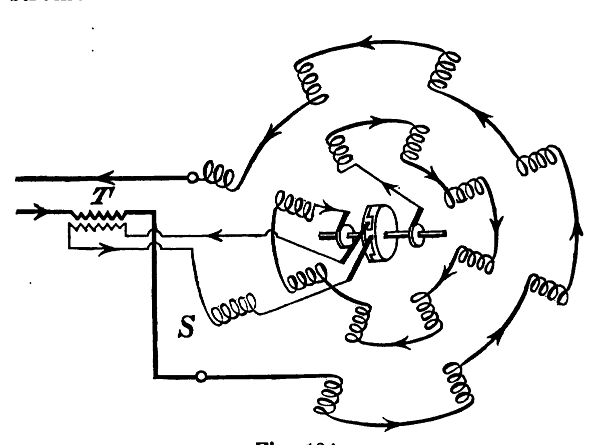


Fig. 194.
Methode für gleiche Spannung nach Zipernowsky.

a) Die Methode nach Zipernowsky für gleiche Spannung bringt Fig. 194 an einer achtpoligen Innenpolmaschine, deren Anker aus acht feststehenden Spulen besteht, schematisch zur Darstellung.

Sieben Ankerspulen sind hintereinandergeschaltet; der Strom der achten Spule *S* wird mittelst eines auf der Welle der Maschine befestigten Stromwenders den Magnetwickelungen zugeführt und fließt durch einen Transformator *T*, dessen dicke Windungen in den Hauptstrom eingeschaltet sind. Durch den Transformator *T* wird der Erregerstrom von der Stromstärke des äußeren Stromes abhängig gemacht.[1])

b) Die Methode nach Kennedy für gleichbleibende Stromstärke beruht auf dem Principe der letzten Methode. Die dünnen Windungen des Transformators bilden einen Nebenschluss zu den Klemmen der Maschine.

165. Die Zusammenschaltung der Dynamomaschinen ist in den folgenden Schemen nur an zwei Maschinen durchgeführt, weil jede weitere Maschine genau so an die vorhergehenden angeschlossen wird, wie die zweite an die erste.

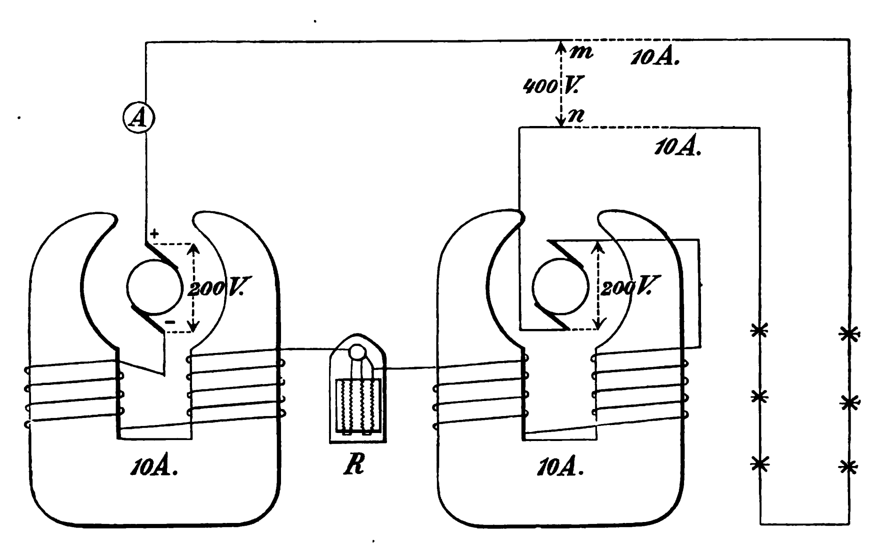


Fig. 195. Hintereinanderschaltung von Reihenmaschinen.

166. Hintereinanderschaltung. Die Spannungen hintereinander geschalteter Maschinen addieren sich. Die Pole der Maschinen wechseln in ihrer Aufeinanderfolge (+ — + — u. s. w.).

---

[1]) Vergleiche die Regelungsmethode nach Schallenberger in Electrical World, X, 1887, S. 60.

a) Reihenmaschinen, Fig. 195, müssen, wenn sie hintereinander geschaltet werden sollen, für dieselbe Stromstärke berechnet sein. Beträgt die Spannung an jeder Maschine 200 Volt, so herrscht zwischen den Punkten *m* und *n* die Gesammtspannung von 400 Volt. Die Stromstärke muss, da nur ein Stromkreis vorhanden ist, überall dieselbe sein.

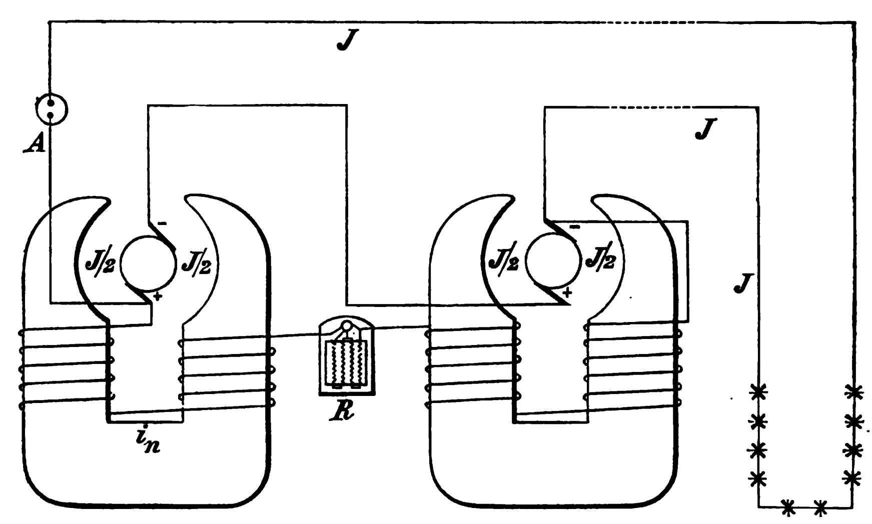


Fig. 196. Hintereinanderschaltung von Nebenschlussmaschinen.

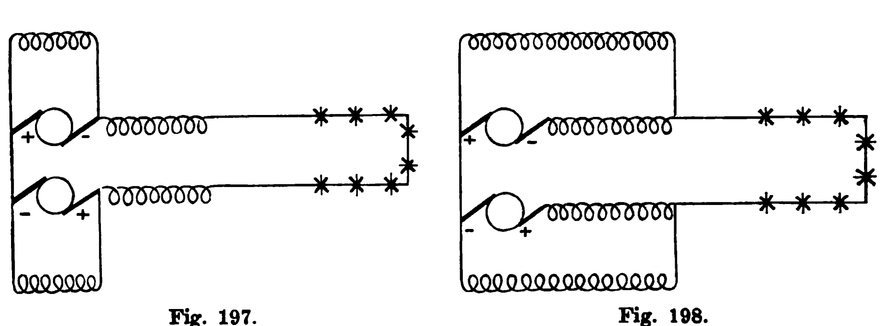


Fig. 197.
Hintereinanderschaltung von Compound-Maschinen (kurzer Nebenschluss).

Fig. 198.
Hintereinanderschaltung von Compound-Maschinen (langer Nebenschluss).

b) Nebenschlussmaschinen, Fig. 196.

c) Maschinen mit gemischter Schaltung.

1. Mit kurzem Nebenschlusse, Fig. 197.
2. Mit langem Nebenschlusse, Fig. 198.
3. Vereinigung der beiden letzten Schaltungen.

167. Nebeneinanderschaltung.

Die Stromstärken parallel geschalteter Maschinen addieren sich. Die einzelnen Maschinen werden mit den gleichen Polen aneinander geschlossen.

a) Nebeneinanderschaltung von Reihenmaschinen, Fig. 199. Parallel geschaltete Reihenmaschinen müssen nach Gramme auch durch die Leitung L zwischen den zweiten (positiven oder negativen) Polen verbunden sein, weil sich sonst durch eine größere Klemmenspannung an der einen Maschine die Pole der anderen Maschine umkehren und

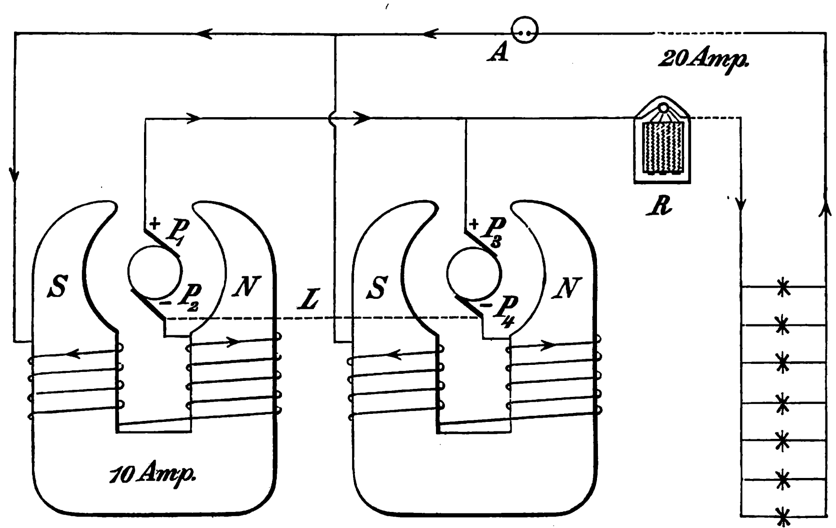


Fig. 199. Nebeneinanderschaltung von Reihenmaschinen.

die Maschine mit niederer Spannung angetrieben werden kann. Haben die Maschinen genau gleiche Spannung, so herrscht zwischen den Polen P_1 und P_3 und P_2 und P_4 keine Spannungsdifferenz und die Verbindungsleitung L ist stromlos. Bei verschiedenen Spannungen an den Polen wird Strom aus der einen Maschine in die zweite fließen und da jetzt die Richtungen der Ströme in beiden Maschinen übereinstimmen, wird die Erregung der schwächeren Maschine durch die stärkere verstärkt; eine Umkehrung der Pole ist deshalb bei dieser Schaltungsweise gänzlich ausgeschlossen.

b) Nebeneinanderschaltung von Nebenschlussmaschinen. Sind mehrere Maschinen mit getrennten Leitungsnetzen in großen Beleuchtungsanlagen oder Centralstationen vorhanden, so muss ein sogenannter Generalumschalter im Falle des Versagens einer Maschine

eine zweite (gewöhnlich Reservemaschine) in den Stromkreis derselben einschalten. Zweck der Parallelschaltung von Maschinen ist es, diese Umschaltung, sowie die damit verbundene Stromunterbrechung, zu vermeiden und das Leitungsnetz einfacher zu gestalten. Sollen Nebenschlussmaschinen parallel geschaltet werden, so müssen dieselben die gleiche Spannung haben, denn schon bei ganz geringen Spannungs-

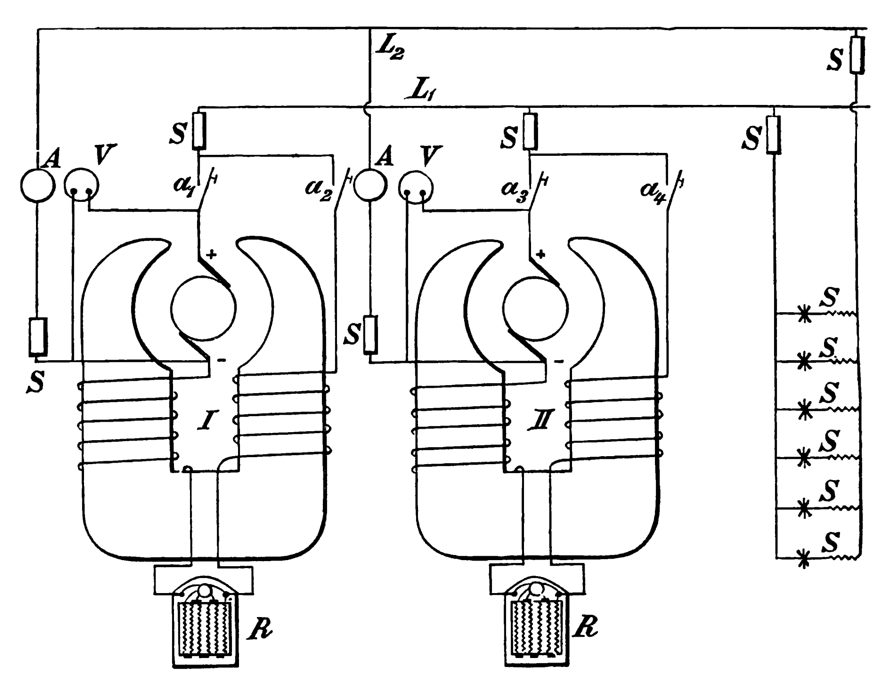


Fig. 200. Nebeneinanderschaltung von Nebenschlussmaschinen.

differenzen wird, da sich dieselben gegenseitig tilgen, der Nutzeffekt der Gesammtanlage geschädigt.

Schon bei einer Spannungsdifferenz zweier Maschinen von einigen Volt treibt die eine Maschine die andere an.[1])

Die Nebeneinanderschaltung zweier Nebenschlussmaschinen stellt Fig. 200 übersichtlich dar. Die positiven Pole der Maschinen sind an die Hauptleitung L_1, die negativen an die Hauptleitung L_2 angeschlossen.

Die Magnetwickelungen werden, um durch Außenstrom etwa eintretenden Polwechsel unmöglieh zu machen, hinter den Ausschaltern

[1]) Wilhelm Peuckert, Centralblatt für Elektrotechnik, 1887, S. 174.

a_1 und a_3 befestigt. Die Ausschalter a_2 und a_4 sind nur dann nothwendig, wenn die Magnetrheostate *RR* keine eigene Ausschaltung gestatten; die letzteren Rheostate sind entweder einzeln oder durch eine Welle gemeinsam verstellbar eingerichtet.

Sämmtliche Leitungen sind durch die Sicherungen *S*, *S*..., welche entweder aus Blei-, Kupfer oder anderen Drähten bestehen, vor zu hohen Stromstärken geschützt.

Sicherungen sind überall dort anzubringen, wo ein Quersehnittwechsel des Leitungsdrahtes stattfindet.

Die Ampèremeter *AA* zeigen die Belastung der Maschinen an. Gibt bei einer Glühlichtanlage (Glühlampen zu 100 Volt, 16 Normalkerzen und 0·5 Ampère vorausgesetzt) das Ampèremeter 20 Ampère an, so sind $\frac{20}{0 \cdot 5} = 40$ Glühlampen eingeschaltet; besteht die Anlage aus Bogenlampen zu 10 Ampère, so entsprechen einer Angabe des Ampèremeters von 100 Ampère, $\frac{100}{10} = 10$ Bogenlampen. Die Anzahl der Voltmeter soll, da gleiche Spannung bei der Parallelschaltung maßgebend ist, so groß sein, als die Anzahl der Maschinen; anderenfalls muss die in der nächsten Figur angewendete Voltmeterschaltung, die sich auf beliebig viele Maschinen ausdehnen lässt, vorgenommen werden.

Die Inbetriebsetzung. Sollen sämmtliche Maschinen gleichzeitig in Thätigkeit treten, so sind die Ausschalter a_1, a_2, a_3, a_4 zu schließen und die Voltmeter durch die Magnetrheostate auf die normale Spannung gleichmäßig einzustellen. Kann das Nachschalten der Maschinen nacheinander erfolgen, so ist die durch den Hauptschalter nachzuschaltende Maschine vorerst auf die normale Spannung (Betriebsspannung) zu bringen. Da die Spannungen der Dynamo von den Tourenzahlen derselben abhängen, wird deren Regelung am besten durch den Antrieb von einer gemeinsamen Welle aus erreicht. Besorgen mehrere Motoren den Antrieb von verschiedenen Wellen aus, so kann die Regelung auf gleiche Spannung an den letzteren vorgenommen werden. Für die empfindliche Regulierung ist der Magnetrheostat unentbehrlich.

Das Abstellen geschieht entweder an allen Maschinen gleichzeitig und zwar bei Glühlichtanlagen, soll nicht starke Funkenbildung am Hauptausschalter eintreten, durch gleichzeitiges Ausschalten sämmtlicher Magnetrheostate oder bei Bogenlichtlampen, zur Vermeidung des Zuckens im Lichtbogen der Lampen, des Aufsitzens (Kurzschließens) der Kohlen und von Störungen im Mechanismus derselben, durch Ausschalten sämmtlicher Hauptausschalter.

Fig. 201 veranschaulicht das Schema parallel geschalteter Nebenschlussmaschinen bei Anwendung einer sogenannten Lampenbatterie und eines mit einem Umschalter versehenen Voltmeters. Die Lampenbatterie, weche aus einer der Leistung der Maschinen entsprechenden Anzahl von Glühlampen besteht, kann durch irgend einen Widerstand ersetzt werden. Soll z. B. die zweite Maschine an die Haupt-

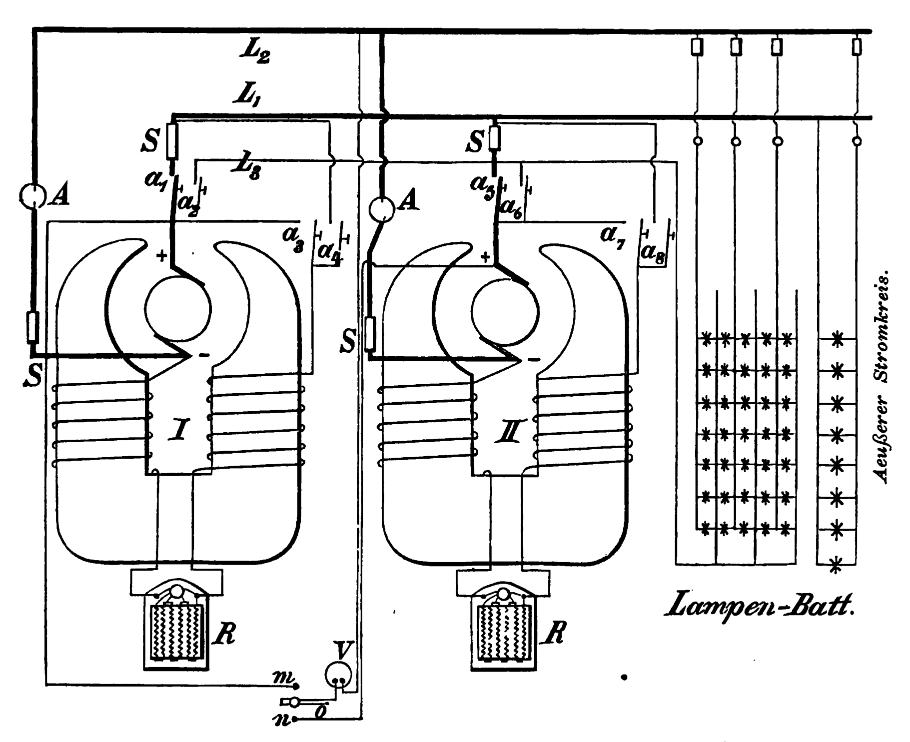


Fig. 201. Nebeneinanderschaltung von Nebenschlussmaschinen.

leitung L_1 und L_2 mittelst des Hauptausschalters a_5 angeschlossen werden, so bringt man dieselbe zuerst durch die Lampenbatterie (Schalter a_6 und a_8) auf die Leistung der anderen Maschinen, schaltet dann bei a_6 aus und bei a_5 und a_7 gleichzeitig ein.

c) Nebeneinanderschaltung von Maschinen mit gemischter Wickelung. Bei den Maschinen mit gemischter Wickelung fließt der Außenstrom durch die Magnetschenkel und nimmt auf die Regulierung des magnetischen Feldes einen großen Einfluss; wird der Außenstrom größer, so steigt die Spannung der Maschine und der

Strom derselben fließt jetzt nicht nur durch den äußeren Stromkreis, sondern auch durch die mit denselben verbundenen Maschinen. M. Mordey und Ledeboer schalten zur Beseitigung dieses Uebelstandes zwischen je zwei Maschinen, Fig. 202 und Fig. 203, eine Ausgleichsleitung L_3 ein, deren Querschnitt mit $^1/_{10}$ der Stromstärke der größten Maschine bemessen wird. Die Ausschalter a_1 und a_2 sind zweipolig

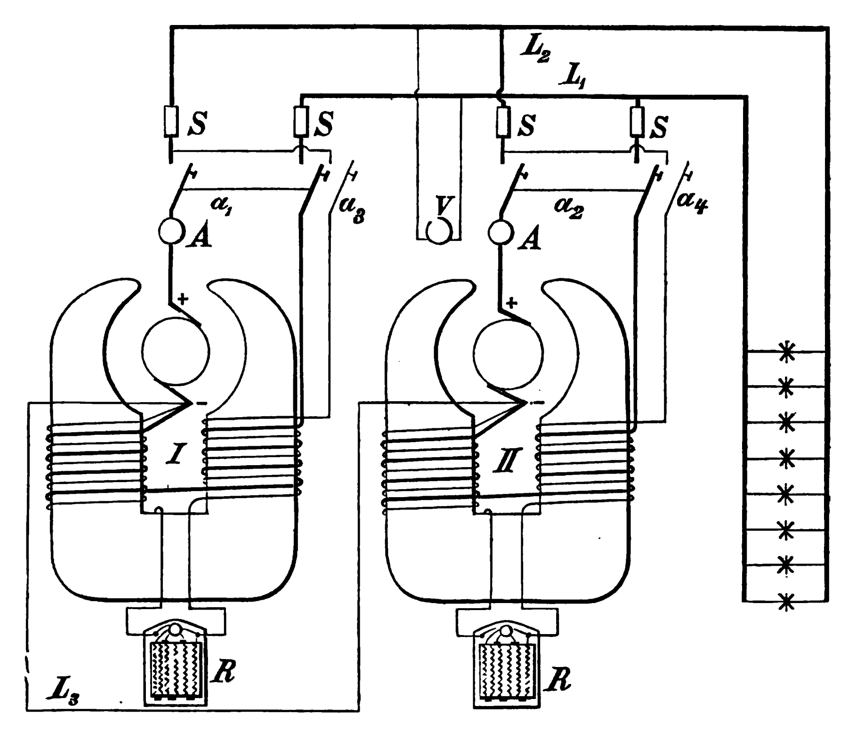


Fig. 202. Nebeneinanderschaltung von Maschinen gemischter Wickelung (zwei Drähte zum Rheostat).

(bipolar), so dass die von der Maschine ausgehenden Hauptleitungen gleichzeitig eingeschaltet werden können. Für den Betrieb und die Schaltung der Apparate gelten die unter *b)* angeführten Vorschriften. Sind die Ausschalter a_1 und a_2 in unmittelbarer Nähe der Maschine aufmontiert, so wendet man die in Fig. 203 dargestellte Schaltung an, weil man sonst von jeder Maschine eine Leitung zum Schaltbrette, dagegen in Fig. 203 nur einen Draht von jeder Maschine zu den Rheostaten *R R* zu führen hat. Da in dieser Figur die Ausschalter für den Nebenschluss fehlen (a_3 und a_4, Fig. 202), müssen die Magnetrheostate selbst ausschaltbar sein.

Wenn bei der in den Schemen, Fig. 202 und 203, angegebenen Schaltung, unter Voraussetzung gleich großer Maschinen und gleicher Tourenzahlen, die Stromstärken in den Magnetwickelungen dieselben sind, müssen die Spannungen und Leistungen der Maschinen gleich sein. Wird dann die Tourenzahl der einen Maschine kleiner, so hat dieselbe weniger Arbeit zu leisten, und lauft rascher, während die zweite Ma-

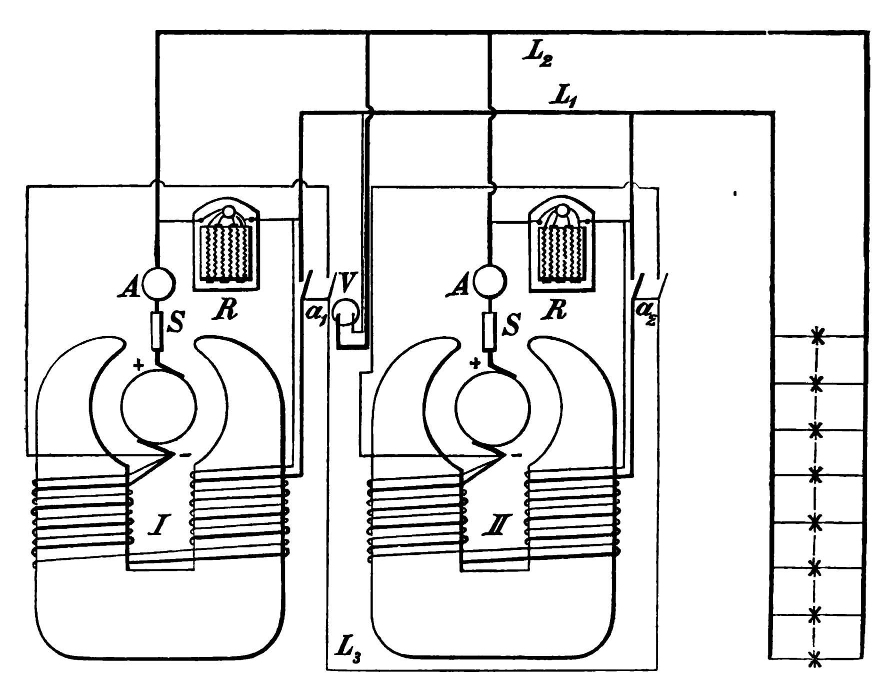


Fig. 203. Nebeneinanderschaltung von Maschinen gemischter Wickelung (ein Draht zum Rheostat).

schine einen langsameren Gang annimmt, bis sich an beiden Maschinen die gleiche Spannung einstellt. Dieselbe Regelung findet auch bei Maschinen von verschiedener Größe und ungleichen Tourenzahlen statt; in lerzterem Falle müssen sich die Widerstände der dicken Windungen umgekehrt wie die Stromstärken der Maschinen verhalten.

168. Zusammenschaltung von Wechselstrommaschinen. Die grundlegenden Theorien dieser Schaltungsart hat Wilde (1869) veröffentlicht und Hopkinson (1883) neu bearbeitet. Wechselstrommaschinen können nur dann hintereinander geschaltet werden, wenn sie miteinander direkt gekuppelt sind. Für die Nebeneinanderschaltung derselben gelten folgende Bedingungen:

1. Die Anzahl der Polwechsel der beiden Maschinen müssen einander gleich oder die Anzahl der Polwechsel der einen Maschine muss einige wenige male so groß sein, als die Anzahl der Polwechsel der zweiten Maschine. Praktische Verwendung hat bisher nur der erste Fall gefunden.

2. Die größte Spannung an jeder Maschine muss genau zu derselben Zeit erreicht werden, d. h. die Maschinen müssen gleiche Phasen haben.

In der Wiener Centralstation der „Internationalen Elektricitätsgesellschaft“[1]) wird die neu hinzuzuschaltende Maschine auf die Ersatzrheostate geschaltet und durch den Erregerstrom auf gleiche Spannung mit den im Betriebe befindlichen Maschinen eingestellt. Die Phasengleichheit wird durch Regelung an dem Ersatzrheostate erzielt und

a) an Lampengruppen (Phasenindikatoren), welche sowohl dem Stromkreise der Betriebsmaschinen, als auch der zuzuschaltenden Maschine angehören und anfangs in kurzen, später in längeren Zwischenräumen (Intervallen) aufleuchten und wieder verlöschen,

b) an den „Summen“ der Maschinen, das mit einer Tonhöhe, deren Schwingungszahl der Polwechselanzahl gleich ist, erfolgt, erkannt.

169. Allgemeine Regeln.

Die Zusammenschaltungen erfolgen demnach bei den Dynamomaschinen gerade so wie bei den Elementen, Accumulatoren u. s w. Man hat nur die folgende Regel zu beachten: Wenn Serien-Wickelungen nebeneinander geschaltet werden, dann müssen die sonst freibleibenden Bürsten durch eine Ausgleichsleitung verbunden werden.

Sämmtliche Zusammenschaltungen von Dynamomaschinen sind für zwei- und mehrpolige Maschinen verwendbar.

IV. Kapitel.

Weitere Bemerkungen über die Dynamomaschinen und Motoren.

170. Der Anker besteht aus weichen Eisenblechen oder Bändern, welche von einander durch Papier, Zinkweiß u. s. w. isoliert sind oder aus isolierten, z. B. baumwollumsponnenen Eisendrähten mit kreisförmigem, quadratischem oder rechteckigem Querschnitte. Es ist besonders darauf

---

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1891, S. 129.

zu achten, dass die Befestigung der Eisenkerne auf der Welle der Maschine (Trommelanker) oder die Befestigung des Eisenkernes auf dem Kreuze und des Kreuzes auf der Welle (Ringanker) eine vorzügliche sei, weil sonst eine Lockerung derselben eintreten kann, welche Funkenbildung und Schluss im Anker zur Folge hat. Das Zusammenziehen der Scheiben des Eisenkernes durch Bolzen ist selbst dann nicht rathsam, wenn dieselben gehörig isoliert sind, weil die beste Isolation beschädigt werden kann und der Eisenquerschnitt in Mitleidenschaft gezogen wird. Tritt Schluss des Bolzens mit dem Eisenkerne ein, so entstehen, wie in dem Falle der schlechten Isolation der Blechscheiben untereinander nicht nur in den Induktor-Windungen sondern auch im Ankereisen Induktionsströme, die sogenannten Wirbel- oder Foucault'schen Ströme, welche

1. das Ankereisen erhitzen und
2. das Güteverhältnis der Dynamo herabdrücken.

Solche Ströme bilden sich auch in den Ankerwindungen, wenn dieselben massiv sind und an der Oberfläche des Ankereisens liegen in den einzelnen Theilen der inducierten Drähte. Zur Befestigung der Windungen dienen Keile an den Stirnflächen aus Fibre oder einem anderen Isolator, sogenannte Mitnehmer (Driving horns).

Die Welle der Dynamomaschine muss stärker bemessen werden, als es die Gesetze des Maschinenbaues lehren, weil schon ganz geringe Schwankungen derselben die Festigkeit des Ankers gefährden und ein Streifen der Ankerflächen an den Polflächen herbeiführen. Der magnetische Stromkreis jeder Dynamo hat das Bestreben sich zu verkürzen. Durch dieses Bestreben wird der Anker in den Maschinen der Gruppe I (§ 154) mit nur einem magnetischen Stromkreise kräftig gegen das Joch gezogen, während sich in den Maschinen mit zwei oder mehreren magnetischen Stromkreisen die entgegengesetzten Wirkungen je zweier Stromkreise aufheben.

Der Abstand zwischen dem Ankereisen und den Polflächen muss möglichst klein sein. Bei zweipoligen Maschinen mit Stromstärken von 50 bis rund 150 Ampère können Vierkantkupferdrähte als Ankerwickelung angewendet werden, weil dieselben bei gleichem Querschnitte mit einem runden Drahte einen geringeren Raum einnehmen. Es ist hervorzuheben, dass bei der Anwendung solcher Drähte leicht eine Beschädigung der Isolation derselben stattfinden kann. Durch Abrunden der scharfen Kanten lässt sich dieser Uebelstand beinahe gänzlich beheben.

Für Stromstärken von 200 und mehr Ampère und niedere Umdrehungszahlen sind mehrpolige Maschinen praktisch; bei diesen

Maschinen werden die Querschnitte der Ankerdrähte, die Umdrehungszahl und bei glatten Ankern, der Abstand zwischen dem Ankereisen und den Polflächen kleiner.

Der Abstand zwischen den Ankerwindnngen und Polflächen erhält bei glatten Ankern den kleinsten Wert, wenn die Höhe der Kupferdrähte am geringsten wird und beträgt im günstigsten Falle 1·5 *mm.*

Ein Ankerkern aus isolierten Eisendrähten hat den Nachtheil, dass der Eisenquerschnitt eine Schädigung erleidet, weil

1. die Isolation der Drähte mehr Raum beansprucht als die von Blechen und

2. der Querschnitt des magnetischen Feldes durch die Isolation der Drähte unterbrochen (die Unterbrechung findet hier nicht nur in der Richtung des Längsquerschnittes des Ankereisens, wie bei Blechscheiben, sondern auch in der Fortpflanzungsrichtung der Kraftlinien statt) und der Widerstand des magnetischen Stromkreises deshalb größer ist.

Eine besondere Form des Eisenkernes stellt der sogenannte Nutenkern (Ring mit Zähnen) dar. Bei dieser Konstruktion liegen die Ankerwindungen in den Nuten eines Eisenkernes. Die Nutenanker haben folgende Vorzüge:

1. Die Befestigung der Ankerdrähte erscheint vollkommen.
2. Der Luftabstand zwischen den Polschuhen und dem Ankereisen ist ein kleinster.
3. Die Ersparnis an Kupfer beträgt rund den 3. Theil.[1])
4. Die Tourenzahlen werden bis auf die Hälfte erniedrigt.[1])

Als Nachtheile des Nutenkernes wären insbesondere hervorzuheben:

1. Eine gute Isolation der Ankerwindungen ist schwer zu erreichen.
2. Die Erwärmung des Kernes infolge von Wirbelströmen.
3. Nutenkerne sind sehr theuer.

171. Die Magnete. Die besten Materialien für die Feldmagnete (Kern, Joch und Polschuh) sind Stahlguss und weiches Schmiedeeisen, das minder gute Gusseisen. Die Güte (magnetische Leitungsfähigkeit) der verschiedenen Stahlguss-Sorten reicht von der des Gusseisens bis zu jener des Schmiedeeisens. Die Preise des Schmiede- und Gusseisens verhalten sich beiläufig wie 8:3, die bei demselben magnetischen Strome (bei gleich starkem magnetischen Felde) erforderlichen Querschnitte wie 2:3. Ein Nachtheil der schmiedeeisernen Magnete besteht darin, dass dieselben nicht aus einem Stücke geschmiedet werden können und selbst

[1]) Tischendörfer (Kolbe), Zeitschrift für Elektrotechnik, XI, 1892, S. 511.

die beste Verbindung der Trennungsflächen den Widerstand des magnetischen Stromkreises vermehrt.

Die günstigste Querschnittsform der Magnete ist die kreisrunde, weil der Kreis bei gleichem Querschnitte den kleinsten Umfang hat; bei gleicher Drahtlänge (gleicher Anzahl der Windungen) erscheint deshalb der kreisförmige Querschnitt als der größte, der magnetische Widerstand des Stromkreises als der kleinste. Da bei gleichem Querschnitte der Kreisumfang des Magneteisens die geringste Länge hat, so muss auch die Drahtlänge bei derselben Windungszahl eine kürzere sein, wodurch nicht nur der Widerstand der Magnetwickelung, sondern auch der Kupferpreis kleiner werden.

Die Nachtheile der Anwendung mehrerer Magnetkerne anstatt zweier sind:

a) Die Vermehrung des Kupfergewichtes, also auch die Vergrößerung des Widerstandes der Wickelung.

b) Die gegenseitige Beeinflussung der magnetisierenden Kräfte der Schenkel.

In der folgenden Tabelle sind in der ersten Spalte die Flächen in cm^2 für verschieden gestaltete Querschnittsformen, deren Umfang 1 *m* beträgt, in der zweiten Spalte das Verhältnis der Umfänge gleich großer Querschnitte, wenn der Kreisumfang mit 1 *m* angenommen wird, angegeben.

Hopkinson hat zuerst bewiesen, dass die Anordnung von zwei oder mehreren parallelen Kernen anstatt eines unvortheilhaft ist.

Formen	Umfang = 1 *m*	Gleiche Querschnitte Kreisumfang = 1 *m*
	Inhalt in cm^2	Verhältnisse der Umfänge
Kreis	796	1
Quadrat	625	1·13
Rechteck, Seitenverhältnis 2 : 1	555	1·20
„ „ 3 : 1	469	1·30
„ „ 4 : 1	400	1·41
„ „ 10 : 1	236	1·96
Oval aus einem Quadrate zwischen 2 Halbkreisen	675	1·09
„ „ 2 Quadraten „ 2 „	548	1·21
Zwei Kreise, Schnitt durch 2 parallele Kerne	398	1·41
Drei „ „ „ 3 „ „	265	1·73
Vier „ „ „ 4 „ „	199	2·00
Acht „ „ „ 8 „ „	99	2·82

Die Tabelle gibt Zahlenangaben von verschiedenen Querschnittsformen und mehreren parallel geschalteten Kernen. Die Tabelle gibt für einen Kreis 796 cm^2 Querschnitt und für 8 Kreise $\frac{796}{8} = 99\ cm^2$ Querschnitt an.

Beispiel: Wie groß ist der Umfang eines Magnetkernes von 749 cm^2 Querschnitt?

$$q = \frac{\pi\, d^2}{4} = 796, \quad 4 \times 796 = \pi\, d^2, \quad \pi = 3{\cdot}1416 \backsim 3,$$

$$\pi . d^2 = 3184, \quad d^2 = \frac{3184}{3} \backsim 1061, \quad d = \sqrt{1061} \backsim 32{\cdot}6.$$

Der Umfang $u_1 = \pi . d = 32{\cdot}6 \times 3 = 97{\cdot}8\ cm.$

Beispiel: Welcher Kreisumfang entspricht einem Querschnitte von 99 cm^2?

$$q = \frac{\pi\, d^2}{4} = 99, \quad 4 \times 99 = \pi\, d^2 = 396, \quad d^2 = \frac{396}{3} = 132, \quad d = \sqrt{132} = 11{\cdot}5.$$

$$u_2 = \pi . d = 3 \times 11{\cdot}5 = 34{\cdot}5\ cm; \text{ für acht Kerne } u_8 = 8 \times 34{\cdot}5\ cm.$$

Beispiel: Wie verhalten sich die in den letzten 2 Beispielen berechneten Umfänge u_1 und u_8?

$$u_1 = 97{\cdot}8\ cm, \quad u_8 = 8 \times 34{\cdot}5\ cm.$$

Das Verhältnis derselben ist also $\frac{97{\cdot}8}{8 \times 34{\cdot}5}$; dividiert man Zähler und Nenner durch 97·8, so erhält man annähernd (da für $\pi \backsim 3$, anstatt 3·1416 eingesetzt wurde) als das Verhältnis der Umfänge 1 zu 2·82, das in der Tabelle angegebene Verhältnis.

Das Eisen der Feldmagnete soll massiv sein. Hohle Magnetschenkel sind schon gegen geringe Schwankungen der Tourenzahl, des Ankerstromes u. s. w. empfindlich. In massiven Magneten entstehen bei den genannten Schwankungen Induktionsströme, welche Änderungen des magnetischen Feldes entgegenwirken.

Hat das Magneteisen eine faserige Struktur, so muss die Richtung der Faser mit der Richtung der Kraftlinien übereinstimmen und die Polfläche senkrecht schneiden.

Für das Material der Polschuhe gelten die bei den Magneten gemachten Bemerkungen. Die Streuung der Kraftlinien ist möglichst gering, wenn die Polschuhe stark, keine Ecken und Kanten an denselben vorhanden und die Abstände zwischen den Polflächen und dem Eisenkern sehr klein sind.

Das Einbiegen der Polschuhe in das Innere des Ringankers ist mit mechanischen Schwierigkeiten, nicht aber mit besonderen Vortheilen, verbunden.

Wenn der Eisenabstand zwischen dem Eisenkerne und den Polflächen überall genau gleich ist, muss auch das magnetische Feld und die Vertheilung der elektromotorischen Kraft gleichmäßig sein.

Die Feldmagnete sammt Polschuhen dürfen nicht heiß werden, weil sonst eine Verminderung der Magnetisierbarkeit derselben und eine Vermehrung des Widerstandes der Magnetwickelung eintreten.

Ursachen für die Erhitzung der Feldmagnete und Polschuhe sind:

a) Zu hohe Tourenzahlen (zu viel Polwechsel).

b) Das Heißwerden der Magnetwickelung infolge zu hoher Beanspruchung derselben.

c) Wirbelströme. Das Heißwerden der Eckpolstücke, von welchen sich der Anker einer Dynamo wegdreht, rührt von diesen Strömen her. Bei einem Motor werden die andern beiden Eckpolstücke heiß.

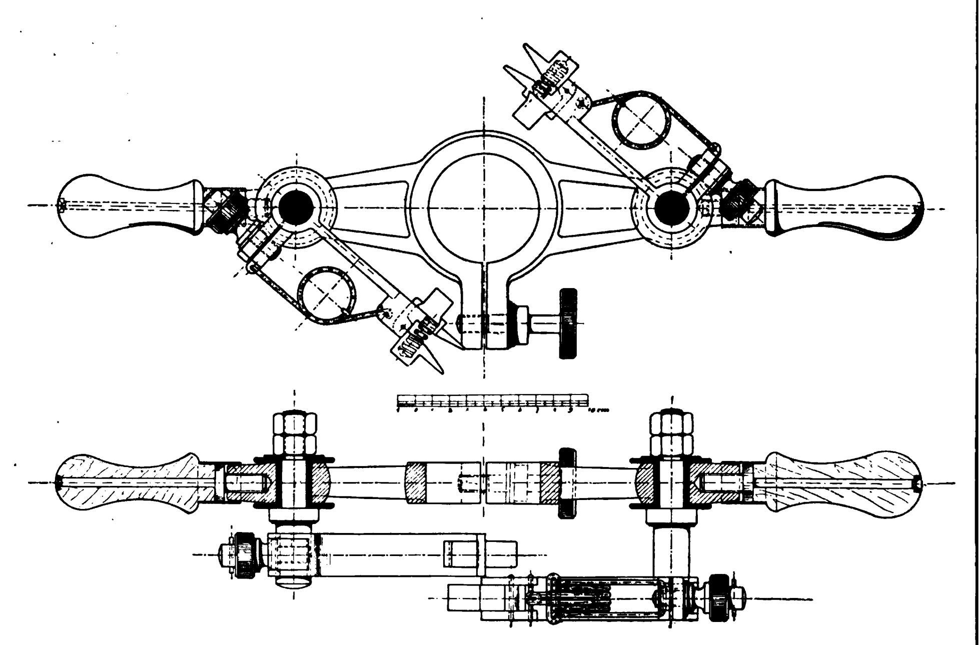


Fig. 204. Kohlenbürstenvorrichtung der Österr. Schuckert-Werke.

172. Bürstenvorrichtungen. Apparate dieser Art wurden bereits auf den Seiten 160 und 161 wiedergegeben. An dieser Stelle soll die Bürstenvorrichtung der Österreichischen Schuckert-Werke vormals Kremenezky, Mayer & Co., Fig. 204, als Beispiel einer Vorrichtung für Kohlenbürsten angeführt werden. Während in Fig. 166 zwei Schrauben zum Festhalten des Bürstenhebels auf dem Lagerständer dienen (die Figur zeigt nur die vordere Schraube, die rückwärtige liegt symmetrisch zur vorderen) ist in Fig. 204 für diesen Zweck nur eine

Schraube vorhanden. Auf diese Art wird die Einfachheit des Baues, eine bequeme Handhabung des Bürstenhebels und damit des ganzen Bürstenapparates erreicht. Der Bürstenhalter trägt die Kohle, so dass dieselbe radial auf dem Kollektor steht. Bei dieser Stellung der Kohle ist es gleichgiltig, in welcher Richtung die Maschine rotiert. Genannte Bürstenvorrichtung besitzt zwei Federn. Die große Feder mit der kreisförmigen Schleife drückt den Bürstenhalter gegen den Kollektor, die kleine Spiralfeder hält die Kohle fest. Wie der Aufriss der Fig. 204 zeigt, hat jenes Ende des Bürstenhalters, welches die Kohle trägt, eine scherenförmige Gestalt. Drückt man die äußersten, hervorragenden Enden (die Messer der Schere) zusammen, dann fällt die Kohle heraus, während die kleine Feder gepresst wird. Die Bürstenhalter sind auf die Bürstenstifte ebenso geklemmt, wie der Bürstenhebel auf den Lagerständer.

173. Ankerwickelungen. Man unterscheidet geschlossene (S. 136, Fig. 127) und offene Ankerwickelungen. Wenn die einzelnen Windungen in sich geschlossene Stromkreise bilden, dann heißt die Wickelung geschlossen (S. 136, Fig. 127). Besitzt der Anker nur einen Stromkreis, so spricht man von einer einfach geschlossenen Wickelung, zum Gegensatze von einer mehrfach geschlossenen Wickelung, bei welcher mehrere geschlossene Stromkreise vorhanden sind. Die Veranschaulichung der Ringwickelung gestaltet sich sehr einfach und erfolgt in der Regel in der früher (S. 136, Fig. 127) angegebenen Weise als sogenannte Spiralwickelung; diese Wickelung kann auch in einer Ebene dargestellt werden, wenn man die Polflächen und die Windungen in die Ebene abrollt, die Polflächen als Rechtecke, die Windungen als gebrochene Linien zeichnet und die nicht wirksamen Theile der Windungen punktiert.

Zur Veranschaulichung der Trommelwickelungen dienen:

1. Verzerrte Bilder, Fig. 205 und 206. In Fig. 205 liegen die einzelnen Windungen in Ebenen, welche die Trommelachse nicht schneiden. Die Windungen verlaufen an den Stirnflächen in Sehnen. Die Sehnen sollen immer größer sein, als der von einem Polschuh umfasste Bogen. Die größte Sehne ist der Durchmesser. Die in Fig. 205 dargestellte Trommel besteht aus 4 Abtheilungen, der Kollekter aus 4 Segmenten. Die 4 Windungen jeder Abtheilung bilden ein ununterbrochenes Ganze (sind hintereinander geschaltet). In den einzelnen Abtheilungen schließen immer Ende und Anfang aneinander, so dass sämmtliche Windungen der Trommel hintereinander geschaltet erscheinen. Dort wo Anfang und Ende zweier Abtheilungen zusammenstoßen,

erfolgen die Anschlüsse an die Kollektor-Segmente. Zwischen je zwei gegenüberliegenden Kollektor-Segmenten, auf welchen die Bürsten aufliegen müssen, sind somit die Trommel- sowie die Ringwindungen (S. 136,

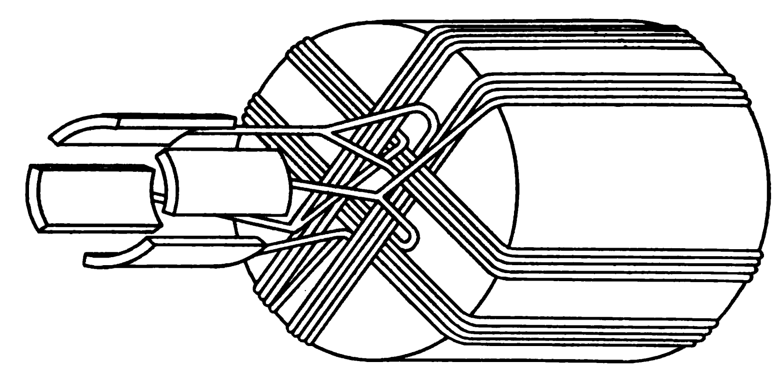


Fig. 205. Trommelanker mit geschlossener Wickelung (4 Abtheilungen).

Fig. 127) in zwei parallele Zweige getheilt. Ein weiteres verzerrtes Bild einer Trommel gibt Fig. 206 wieder. Die Ausführung der Wickelung mit 10 Windungen ist aus dieser Figur sofort ersichtlich. Die Kollektor-

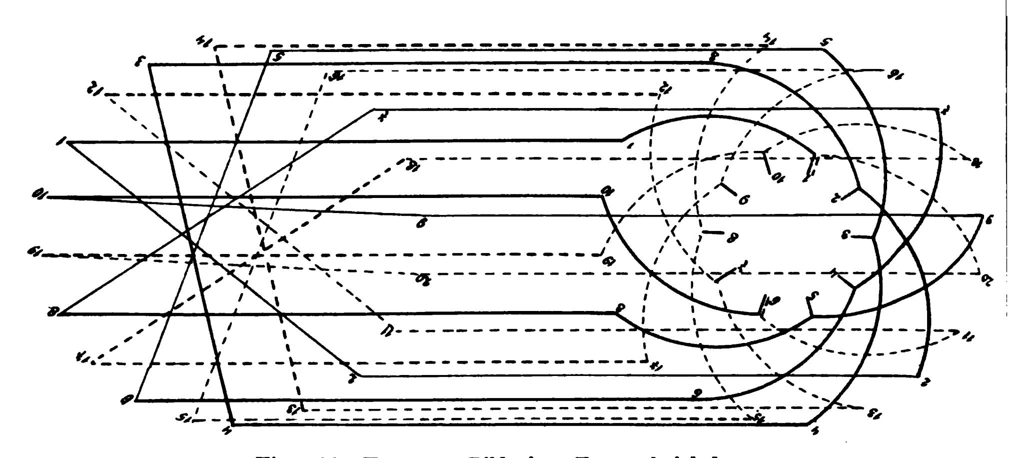


Fig. 206. Verzerrtes Bild einer Trommelwickelung.

Segmente sind durch radiale Striche und durch die Ziffern 1 bis 10 bezeichnet.

2. Projektion auf den Kreis (Ansicht der vorderen Stirnfläche). Diese Zeichnungen sind bereits besprochen worden (S. 139, Fig. 133 und 134). Während die Drähte in Fig. 133 an den Stirnflächen

in der Richtung der Durchmesser führen, verlaufen in Fig. 205 die Windungen an den Stirnflächen in Sehnen.

3. Darstellung in der Ebene nach Waldemar Fritsche[1]), Fig. 207. In dieser Figur erscheint der Anker der Trommel in die Papierebene abgerollt. Das Rechteck *ABCD* stellt den Trommelmantel dar. Auf dem letzteren liegen die Stäbe in gleichen Abständen nebeneinander und sind mit denselben Ziffern bezeichnet wie in Fig. 206. Die Lage der Bürsten ergeben die Stromrichtungen, welche letzteren

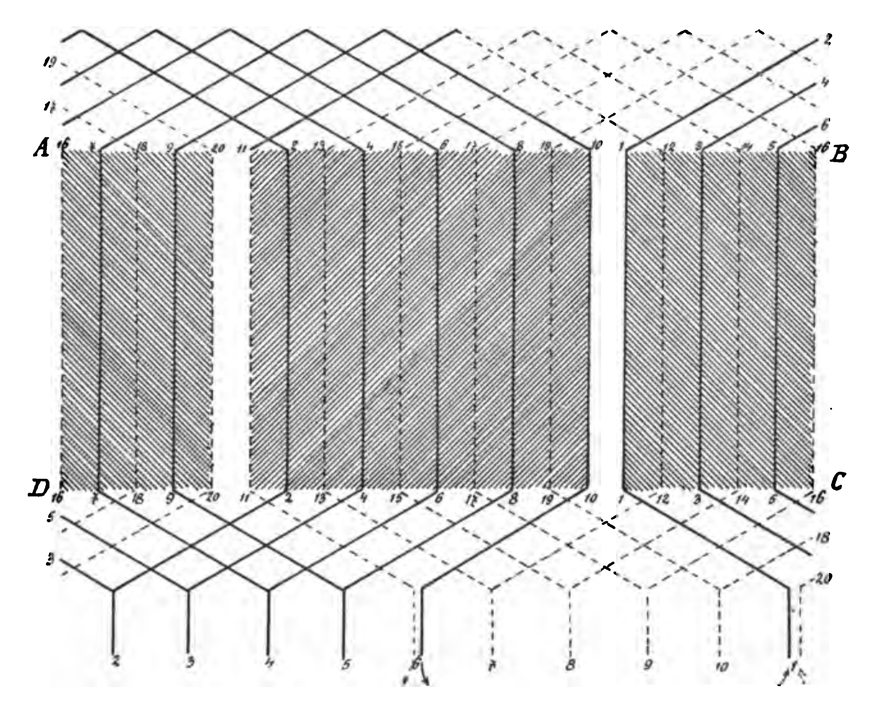


Fig. 207. Einfache Wellenwickelung (Waldemar Fritsche).

durch die bereits oben wiederholte Regel (Siehe auch I. Buch, S. 73) augenblicklich angegeben werden können. Diese Regel lautet: Bei Linkslauf einer elektrischen Maschine haben Kraftlinien und Strom an den Stirnflächen des Induktors dieselbe (bei Rechtslauf die entgegengesetzte) Richtung. Kennt man die Stromrichtung an den Stirnflächen, so ist man auch in der Lage, die Richtung des Stromes in den Verlängerungen der Windungen, also am Umfange der Armatur anzugeben.

[1]) Centralblatt für Elektrotechnik, 1887, S. 648.

Die Vortheile der Wickelungen in der Ebene sind:

a) Die einfache geometrische Figur.

b) Die Angabe der Lage der Pole durch Schraffur der Pole.

Man hat dadurch ein Mittel gegeben, die wirksame Drahtlänge zu ermitteln und den Einfluss der Pole übersichtlich zu gestalten. Silv. P. Thompson schraffiert die Pole ebenso wie Waldemar Fritsche aus dem folgenden Grunde. Legt man anstatt eines Stabes einen Papierstreifen mit einem schmalen Schlitze über die Polfläche und bewegt den Streifen in der Richtung der Rotation parallel mit sich selbst nach rechts

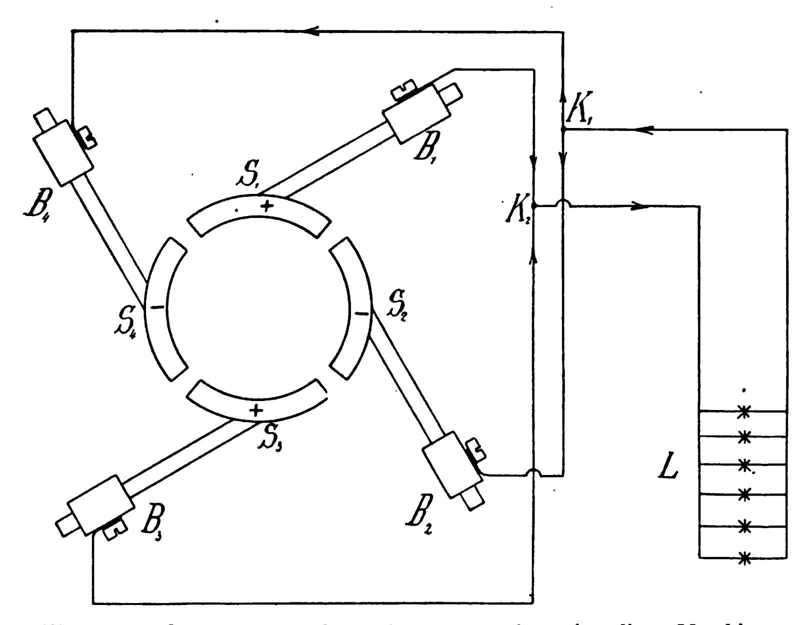


Fig. 208. Nebeneinanderschaltung der Bürsten einer vierpoligen Maschine.

hin, so geht durch den Schlitz eine scheinbare Bewegung der schrägen Linien in der Richtung vor sich, in welcher der Strom wirklich fließt. Die schrägen Linien des Nordpoles müssen parallel zu dem Mittelstrich des Buchstabens *N* laufen.

c) Übersichtliche schematische Darstellung voll bewickelter Trommeln.

d) Angabe eines Weges, auf welchem die Ausführung der Trommelwickelung auf dem Mantel der Trommel ausführbar erscheint. Wickelungen dieser Art wurden zuerst durch Waldemar Fritsche ausgeführt; man nennt sie in der obigen Darstellung einfache Wellenwickelung (Scheitelwickelung, Schleifenwickelung).

Zweipolige Maschinen besitzen zwei Stromkreise. Die geschlossene Ankerwickelung wird in diesem Falle durch die Bürsten in zwei Theile getheilt (S. 136, Fig. 127). Eine vierpolige Maschine besteht aus zwei zweipoligen Maschinen. Die Zahl der Bürsten wird jetzt der Anzahl der Pole gleich sein: Morday verbindet bei solchen Maschinen entweder die gleichnamigen Bürsten, Fig. 208 und S. 141, Fig. 138, oder die gleichnamigen Kollektor-Segmente, Fig. 209, untereinander. In Fig. 208 stellen S_1 bis S_4 Kollektor-Segmente, B_1 bis B_4 Bürsten, K_1 und K_2 die Abzweigungspunkte für das Leitungsnetz und L Glühlampen vor. Die beiden + Bürsten B_1 und B_3 und die beiden — Bürsten B_2 und B_4 sind leitend miteinander verbunden. Zur Erklärung der Figur 209 sei angeführt, dass wir mit S_1 bis S_4 Kollektor-Segmente, B_1 und B_2 Bürsten, L Lampen, V_1 und V_2 Verbindungsleiter bezeichnen. Die + Kollektor-Segmente S_1 und S_3 sind durch den Verbindungsleiter V_2, die — Kollektor-Segmente S_2 und S_4 durch den Verbindungsleiter V_1 aneinander angeschlossen. Sechspolige Maschinen erhalten sechs, achtpolige acht Bürsten u. s. w. Allgemein erfolgt die Parallelschaltung mehrpoliger Maschinen analog den Fig. 208 und 209.

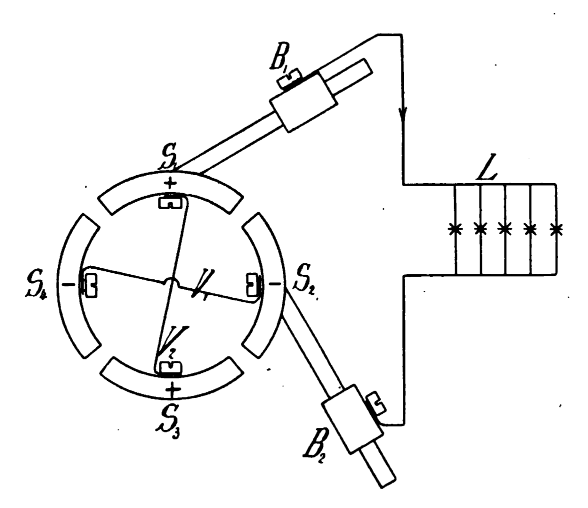


Fig. 209. Nebeneinanderschaltung der Kollektor-Segmente einer vierpoligen Maschine.

Nach Perry [1]) kann man auch Spulen aus verschiedenen Feldern hintereinander schalten und mit zwei Bürsten auskommen, dann sind bei mehrpoligen Maschinen wieder nur 2 Bürstenstifte erforderlich (S. 142, Fig. 140). Die Zahl der Abtheilungen muss ungerade sein, wenn die Zahl der Polpaare gerade ist. Bei sechs- oder zehnpoligen Maschinen kann sie gerade oder ungerade sein.

Paris und Scott [2]) und Gisbert Kapp haben die Wickelung vielpoliger Maschinen mit Reihengruppierung auf Siemenstrommeln angewendet. Wickelt man mehr als zwei Reihen und schaltet dieselben

---

[1]) Specif. of Patent Nr. 3036 von 1882.

[2]) Specif. of Patent Nr. 4683 von 1884.

parallel, so nennt man die Schaltung eine Reihen-Parallel-Schaltung. Die Stäbe der Wickelungen liegen bei Grammeringen parallel, bei Siemenstrommeln parallel oder schräg, bei Flachringen oder Scheibenankern senkrecht zur Welle und zwar entweder radial oder schräg gegen den Radius.

4. Wickelungstabelle (S. 139, Zeile 1 und 2 von unten).

Die Anker für Wechselstrom werden ebenso wie die Anker für Gleichstrom gewickelt. Die beiden Ankerarten unterscheiden sich nur in der Art der Verbindung der Spulen untereinander und in dem Anschließen an den Stromabnehmer (Schleifringe oder Kollektor). Diese Anker wurden bereits besprochen (S. 147 bis 149). Hier soll nur eine übersichtliche Darstellung und Ergänzung über Ring- und Trommelanker angeschlossen werden.

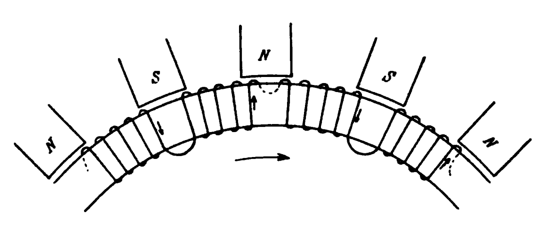


Fig. 210. Ringanker für Wechselstrom, Spulen rechts und links gewickelt.

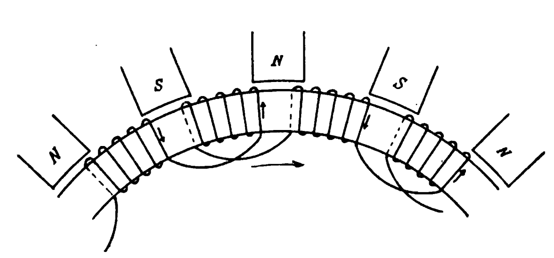


Fig. 211. Ringanker für Wechselstrom, Spulen rechts gewickelt.

1. Ringanker für Wechselstrom. Will man die aufeinander folgenden Windungen (Spulen) wie bei Gleichstrom (S. 136, Fig. 127) hintereinander schalten, so müssen dieselben abwechselnd links- und rechtsgewunden sein (I. Buch, S. 48, Fig. 39 und 40). Fig. 210 stellt einen Theil eines solchen Ringankers dar, welcher bereits in Fig. 147 vollständig wiedergegeben wurde. In Fig. 210 ist die erste Spule links, rechts- die nächste links-, die nächste rechts- und die letzte (vierte) linksgewunden. Denkt man sich die Wickelung gänzlich geschlossen (Fig. 147), so muss dieselbe behufs Abnahme des Stromes an irgend einer Stelle unterbrochen und die so erhaltenen Anfang und Ende zweier benachbarter Spulen zu zwei Schleifringen geführt werden. Der Anker in Fig. 211 besteht nur aus rechtsgewundenen Spiralen. Während in Fig. 210 Anfang und Ende je zweier aufeinander folgende Spulen miteinander verbunden wurden, erfolgt die Verbindung hier von Ende zu Ende und von Anfang zu Anfang abwechselnd. Auch bei dieser

Spaltung wird an irgend einer Stelle die Verbindung zwischen Anfang und Anfang oder Ende und Ende unterbrochen, falls man sich vorher sämmtliche Spulen hintereinander kurz geschlossen denkt. Die jetzt freien zwei Drähte schließt man leitend an die Schleifringe an. Fig. 148 stellt einen solchen Anker mit kurzgeschlossenen Ankerwindungen dar.

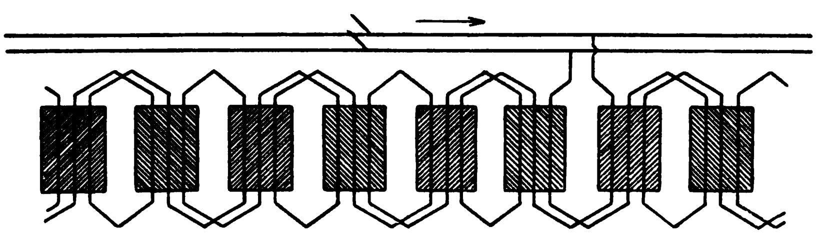


Fig. 212. Einfache Wellenwicklung für Wechselstrom.

2. Trommelanker für Wechselstrom. Ein Bild einer einfachen Wellenwickelung für Wechselstrom zeigt Fig. 212. Diese Schaltung ist im Wesentlichen dieselbe wie jene in Fig. 207. Sie unterscheidet sich von der letzteren durch den Anschluss an Schleifringe (anstatt an Kollektor-Segmente) und dadurch, dass der Sinn der Wickelung von Polfläche zu Polfläche wechselt. Eine schematische Darstellung

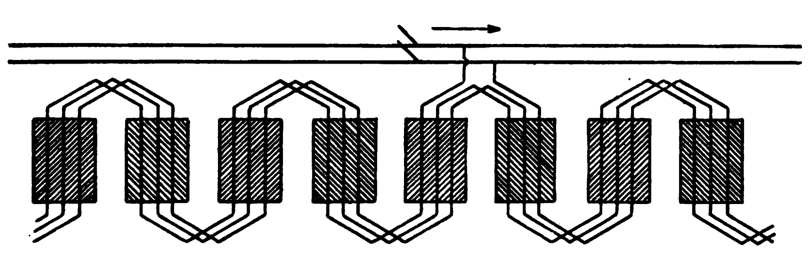


Fig. 213. Doppelte Wellenwicklung für Wechselstrom.

einer doppelten Wellenwickelung gibt Fig. 213 wieder. Die Stromrichtungen ergeben sich in den letzten Figuren ohneweiters nach der oben benutzten Regel (Siehe auch I. Buch, S. 73).

Geschlossene Gleichstrom-Anker-Wickelungen. Jede Trommelwickelung setzt sich aus Drähten oder Stäben, jede Ringwickelung aus Spulen zusammen. Die Elemente der Scheibenanker bilden Stäbe oder Spulen. Die Entfernung y_1 zweier Elemente *7*, *7* und *8*, *8*, Fig. 207, nennt man einen Theilschritt. Der nächste Theilschritt entspricht der Entfernung zwischen *8*, *8* und *9*, *9* u. s. w. Mit y be-

zeichnet man den resultierenden Schritt, das ist die Entfernung zwischen *7, 7* und *9, 9*. Setzen wir den Abstand zweier Elemente = *1*, dann erhalten wir für den resultierenden Schritt $y = 2$. Der Linienzug *7, 7*; *8, 8*; *9, 9* heißt eine Elementen-Gruppe. An *9, 9* schließt die 2. Elementengruppe an u. s. w. Für die geschlossenen Ankerwickelungen hat E. Arnold eine Wickelungsformel aufgestellt. Diese Formel lautet: $y' = \frac{1}{p}\left(\frac{s}{c} \pm a\right)$ worin y' = resultierender Schritt, p = Zahl der Polpaare, s = Elemente (Abtheilungen), c = Zahl der Theilschritte, aus welchen der resultierende Schritt besteht, $2\,a$ = Anzahl der Ankerstromwege. M. Reithoffer, Friedrich Eichberg und Ludwig Kallir[1] haben diese Formel einfach abgeleitet und verallgemeinert. Die obige Formel erhielt so die Gestalt: $\frac{y}{c} = \frac{1}{p}\left(\frac{Es}{c} \pm a\right)$. An die Stelle des y' tritt in dieser Formel $\frac{y}{c}$, d. h. an Stelle des resultierenden Schrittes tritt der c^{te} Theil desselben. Für E kann man jede beliebige Zahl einführen. Für den Gramme'schen Ring ist der einfachste Fall $c = 1$ (1 Theilschritt = resultierender Schritt). Unter dieser Bedingung geht die letzte Formel in die folgende über: $y = \frac{1}{p}\,(Es \pm a)$. Bei Parallelschaltung der Ankerabtheilungen ist $a = p$, d. h. die Zahl der Bürstenstifte = der Polzahl, also $y = \frac{Es}{p} \pm 1$. Für E kann man jede beliebige Zahl einsetzen. Den praktischen Zwecken gemäß wählt man das kleinste E ($E = 0$). Dann erhalten wir die Gleichung $y = \pm 1$. Das ist die gewöhnliche Gramme'sche Wickelung für beliebige Polzahl rechts- und linksgängig.

V. Kapitel.

Untersuchung der Dynamomaschinen und Motoren.

174. Die wichtigsten Hilfsapparate.

1. Das Galvanometer (I. Buch, S. 47, § 54).

2. Das Läutewerk (I. Buch, S. 50 bis 52).

3. Der Isolationsprüfer besteht aus einer magnetelektrischen Maschine *M*, Fig. 214, und einer Wechselstromklingel, Fig. 214 und Fig. 215 (I. Buch, S. 52).

---

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik 1898, S. 17 ff.

Die magnetelektrische Maschine M, Fig. 214, wird durch die Kurbel C und die Räderübersetzung Rr angetrieben; der so erzeugte Wechselstrom durchfließt die Windungen der Elektromagnete E_1 und E_2.

a) Der Anker sei ein Stahlmagnet; dann müssen beide Pole des Elektromagnetes E_1 E_2 gleichnamige z. B. Südpole sein. Die gegenseitige Lage der Pole des Ankers und der Elektromagnete E_1 und E_2 ist durch 2 Fälle erschöpft:

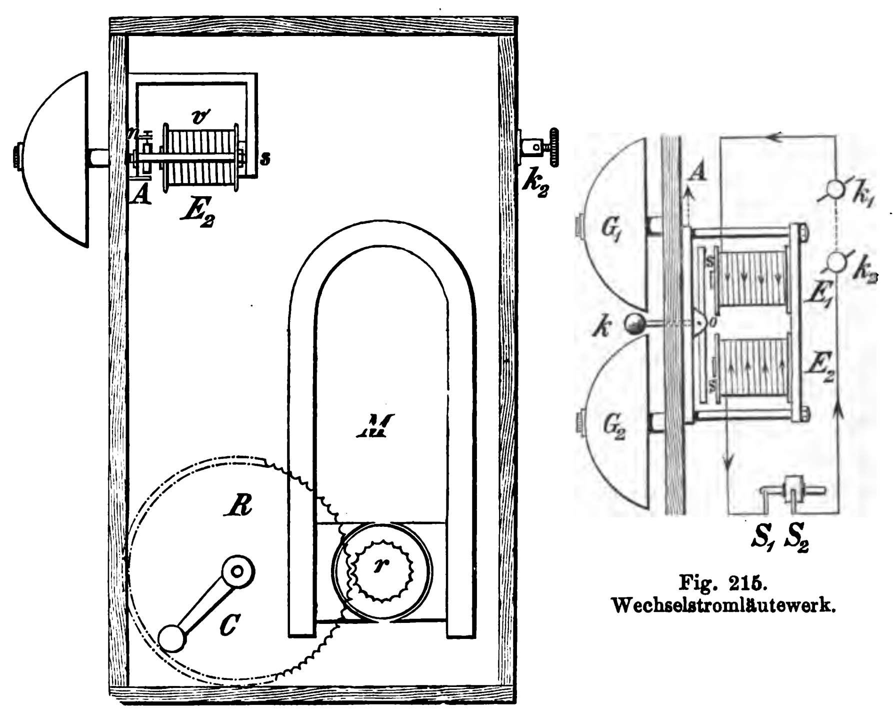


Fig. 214. Isolationsprüfer.

Fig. 215. Wechselstromläutewerk.

α) Dem Südpole des Elektromagnetes E_1 liegt der Nordpol des Ankers gegenüber (Anziehung). Dann müssen auch der Südpol des Elektromagnetes E_2 und der Südpol des Ankers einander gegenüberstehen (Abstoßung).

β) Dem Südpole des Elektromagnetes E_1 befindet sich der Südpol des Ankers gegenüber (Abstoßung), dann muss dem Südpol des Elektromagneten E_2 der Nordpol des Ankers gegenüber liegen (Anziehung).

In beiden Fällen werden sich, da der Anker um den Punkt O drehbar ist, die beiden Bewegungen unterstützen. Wechselt der Strom

seine Richtung, so treten die entgegengesetzten Wirkungen ein. Mit dem Anker ist die Kugel *k* fest verbunden, welche gegen die Glocken G_1 und G_2 schlägt. Die Stromabnahme erfolgt gewöhnlich

a) an der isolierten Welle durch einen Schleifkontakt S_1, Fig. 215, (1. Wechselpol) und

β) durch einen isolierten Ring S_2, Fig. 215, oder es bildet der Metallkörper der Maschine den zweiten Pol. (2. Wechselpol.)

b) Der Anker bestehe aus weichem Eisen.

Als Wechselstromklingel kann nämlich auch ein sogenanntes polarisiertes Relais (Siemens & Halske) Verwendung finden. Dann ist der Theil *n s A*, Fig. 214, ein Stahlmagnet mit den Polen *n* und *s*. Der Anker wird durch Influenz an der dem Elektromagneten zugewendeten Seite nordmagnetisch, während die Eisenkerne des Elektromagnetes durch Influenz Südpole anzeigen.

Fließt kein Strom durch die Windungen des Elektromagnetes, dann müssen die Südpole desselben den nordmagnetischen Anker im Gleichgewichte erhalten, so zwar, dass der Anker in Ruhe verbleibt. Es sind nun 2 Fälle zu unterscheiden:

a) Schickt man den Wechselstrom so (Fig. 215 u. I. Buch, S. 52, Fig. 43,) durch die Windungen des Elektromagnetes, dass die beiden gegen den Anker *A* gerichteten Enden seiner Kerne entgegengesetzte Pole annehmen, dann zieht ein Kern den Anker an, der andere stößt ihn ab und die Kugel *k*, Fig. 215, schlägt gegen eine der Glockenschalen G_1 oder G_2; wechselt der Strom in den Windungen des Elektromagnetes seine Richtung, dann tritt eine Bewegung der Kugel gegen die andere der Glockenschalen G_2 oder G_1 ein.

β) Der Wechselstrom magnetisiert beide Kerne gleichnamig. Dann wird der Stahl-Südmagnetismus in einem Kerne geschwächt, in dem anderen verstärkt, so zwar, dass mit wechselnder Stromrichtung eine hin- und hergehende Bewegung des Ankers eintritt.

4. Die wissenschaftlichen und industriellen Galvanometer (S. 14).

5. Mechanische Messinstrumente (S. 124).

6. Stromrichtungs-und Polbestimmungen (S. 3).

175. Die Untersuchung der Isolation elektrischer Maschinen zerfällt:

1. In die Untersuchung der Isolation des Kupfers der Maschinen gegen das Eisen derselben.

a) Isolation des Gesammtkupfers der Maschine gegen das Eisen, Fig. 216; diese Untersuchung geschieht im stromlosen Zu-

stande mittelst des Universal-, Spiegel-Galvanometers, Läutewerkes (I Buch, Seite 50, Fig. 56), Isolationsprüfers (173), während der Stromerzeugung durch Galvanometer z. B. Torsionsgalvanometer (Seite 30), Spiegelgalvanometer u. s. w. oder, bei Betriebsspannungen bis zu 100 Volt, durch Anlegen eines Drahtendes (oder einer Hand) an den einen Pol der Maschine und augenblickliches Berühren des Eisens derselben mit dem zweiten Drahtende (oder der zweiten Hand) bei ausgeschalteter Außenleitung. Die Isolation ist gut, wenn sich keine oder bei sehr hohen Betriebsspannungen ganz kleine Funken zeigen (kein oder ein ganz geringer Strom durch den Körper fließt). Da bei den Versuchen mit Probedrähten leicht ein Abschmelzen derselben oder ein längerer Kurzschluss der Maschine eintreten kann, empfiehlt es sich, anstatt des Drahtes eine der Maschinenspannung entsprechende Glühlampe einerseits direkt an einen Pol der Maschine und andererseits an das Eisen derselben anzuschließen. Je nachdem die Lampe nicht, dunkel (mit geringer Spannung) oder hell (mit voller Spannung) brennt, ist die Isolation zwischen dem Eisen und Kupfer der Maschine vollkommen, mangelhaft oder gar nicht vorhanden (kurzer Schluss).

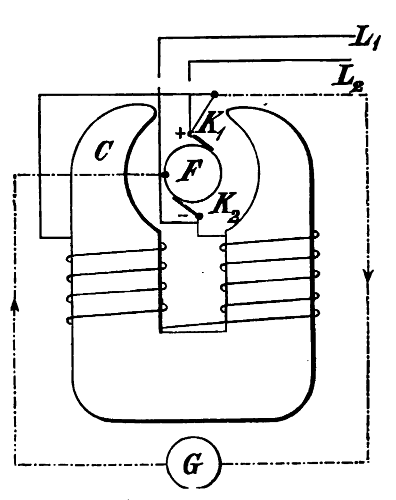


Fig. 216. Prüfung des Gesammtkupfers gegen das Eisen.

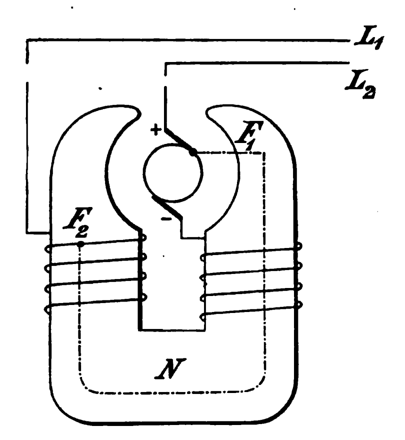
Die praktische Ausführung dieser Versuche zeigt Fig. 216. In dieser Figur bedeuten K_1 und K_2 die Pole der Dynamomaschine; an denselben sollen die Außenleitungen L_1 L_2 ausgeschaltet sein. Der Zuleitungsdraht zum Galvanometer G wird an die Klemme K_1 (positiver Pol) der Maschine und an einen durch Schaben oder Feilen an irgend einer Stelle des Eisenkörpers der Maschine metallisch rein hergestellten Kontakt z. B. bei C angelegt. Zwischen K_1 und C kann man sich statt des Galvanometers ein Läutewerk, einen Induktionsapparat, einen Probedraht, den menschlichen Körper, eine Glühlampe, ein Volt- oder Ohmmeter, einen Polsucher, ein Glas Wasser u. s. w. eingeschaltet denken. Durch diesen Versuch wird die Isolation des negativen Poles des Kupfers einer Dynamomaschine gegen das Eisen derselben ermittelt.

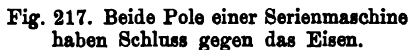
Die Anordnung des Versuches zur Bestimmung der Isolation des positiven Poles des Kupfers der Maschine gegen das Eisen derselben

unterscheidet sich von der letzten nur dadurch, dass der Probedraht anstatt an den positiven, an den negativen Pol angelegt ist.

Ein Fehler an dem Punkte F, Fig. 216 (Nebenschlussmaschine), veranlasst einen Stromverlauf in dem durch die Pfeile der strichpunktierten Linie angegebenen Richtung. In dieser Figur liegt der Fehler im Anker und der Strom fließt vom positiven Pole K_1 durch das Galvanometer G, durch die Kontaktstelle C und die Welle zu der Fehlerstelle F zur negativen Klemme K_2.

Der Betrieb erscheint erst dann gefährdet, wenn beide Pole der Maschine keinen Widerstand gegen das Eisen zeigen. Dieser Fall ist




Fig. 217. Beide Pole einer Serienmaschine haben Schluss gegen das Eisen.

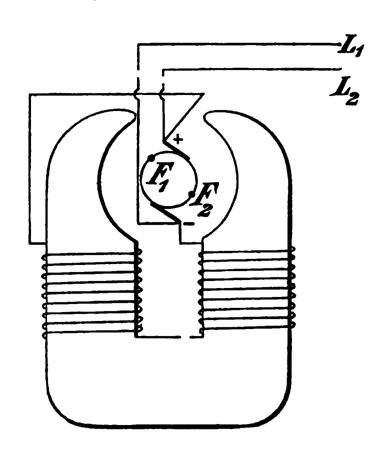


Fig. 218. Beide Pole einer Nebenschlussmaschine haben Schluss gegen das Eisen.

in Fig. 217 an einer Serienmaschine und in Fig. 218 an einer Nebenschlussmaschine dargestellt.

In Figur 217 haben der positive Pol Schluss mit dem Ankereisen bei F_1, der negative Pol mit dem Magneteisen bei F_2, so dass ein Theil oder der ganze Strom im Eisen auf dem Wege $F_1 N F_2$ verläuft.

In Fig. 218 liegen beide Pole metallisch an dem Ankereisen. Zwischen den Feuerstellen F_1 und F_2, Fig. 218, geht der Strom durch das Ankereisen theilweise oder gänzlich über, je nachdem die Fehlerkontakte F_1 oder F_2 oder F_1 und F_2 unvollkommen oder F_1 und F_2 vollkommen metallisch sind. Durch solche Nebenschlüsse im Eisen fließen starke Ströme und es muss im Anker eine höhere (die doppelte und mehrfache) als die normale Stromstärke, erzeugt werden. Ist der Antriebsmotor genügend stark, so wird die Isolation der Ankerdrähte vollständig zer-

stört und die Maschine betriebsunfähig, erweist sich derselbe als zu schwach, so bleibt er stehen.

Hat das Kupfer der Maschine Schluss mit dem Eisen derselben, so sind das Anker- und Magnetkupfer gesondert zu untersuchen.

b) Isolation der Ankerdrähte gegen das Eisen der Maschine. Diese Prüfung wird im wesentlichen so wie die zuletzt besprochenen ausgeführt.

Der Trommelanker, Fig. 219, besteht aus von einander (oder aus von einander und der Welle) isolierten Eisenblechen und starken Endscheiben. Eine Endscheibe F_2 wird durch den Bund B an einer bestimmten Stelle der Welle vor Verschiebungen gesichert und die zweite Endscheibe F_1 durch den Mutternring m gegen die Blechscheiben gedrückt.

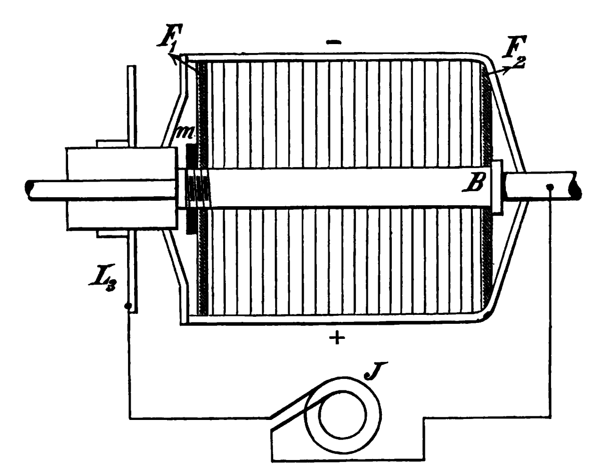


Fig. 219. Prüfung der Isolation des Kupfers gegen das Eisen der Trommel.

Der Ringanker, Fig. 220, ist durch ein Kreuz K auf der Welle befestigt. Der Schluss der Kupferdrähte mit dem Eisen findet bei einem Trommelanker in der Regel an den Endflächen und Kanten des Ankers oder an der Welle, bei Ringankern an den Endflächen, Kanten, an dem Kreuze und an der Welle statt. Der Probedraht, Fig. 219, wird von der Kontaktstelle an der Welle durch einen Isolationsprüfer J zu der unteren Kontaktstelle L_3 des Kollektors oder, Fig. 220, durch die Batterie B, sammt Galvanometer G (beziehungsweise Läutewerk) zu der oberen (Kontaktstelle L_2) des Kollektors geführt, je nachdem die Isolation des negativen oder positiven Poles zu unterscheiden ist. Der gemessene Widerstand muss bei guter Isolation sehr groß sein. Haben beide Pole des Ankerkupfers Schluss gegen das Eisen, so geht der Strom von einem Pole zum andern durch das Ankereisen über, ohne die Ankerwindungen zu durchfließen.

Nähert man dem Anker einer arbeitenden Dynamo ein Eisenstück mit der Hand bis auf eine geringe Entfernung, so wird das letztere,

wenn sich eine kurz geschlossene Ankerabtheilung an demselben vorbei bewegt, stärker angezogen.

Ist die Befestigung der Ankerdrähte unzureichend, so kann der Fall eintreten, dass dieselben während der Thätigkeit der Maschine gegen das Eisen bewegt werden; durch diese Bewegung leidet die Isolation und es entsteht Schluss im Anker.

Dieser Fehler kann häufig nur während der Stromerzeugung der Maschine gefunden werden.

Schickt man bei den Kontaktstücken L_2 und L_3 Strom in den Anker, so kann man die Isolation des Kupfers gegen das Eisen, wie oben (1 a) bestimmen.

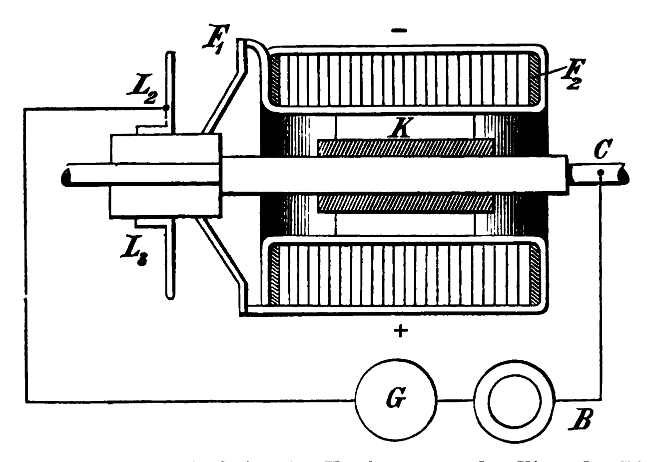


Fig. 220. Prüfung der Isolation des Kupfers gegen das Eisen des Ringes.

c) Isolation des Kupfers der Magnete gegen das Eisen der Maschine.

Haben zwei Drähte der Magnetbewickelung einer Serienmaschine, Fig. 221, z. B. bei F_1 und F_2 Schluss, so geht zwischen diesen Punkten Strom über.

Findet der Schluss zwischen F_1 und F_3 statt, so wird, da kein oder nur ein sehr geringer Theil des Stromes durch die Magnetwindungen fließt, kein oder nur ein sehr geringer Strom im Anker erzeugt.

Fig. 222 soll eine Nebenschlussmaschine darstellen und der Schluss der Magnetdrähte mit dem Eisen findet an den Punkten F_1 und F_2 statt. Der Strom fließt, wie in der Fig. 221, von F_1 nach F_2, die Windungen des linken Magnetschenkels sind ausgeschaltet und wenn an den Polen der Maschine dieselbe Spannung wie früher bestehen soll, so muss, da

der Widerstand der Magnetwickelung jetzt halb so groß ist, die Stromstärke in den Windungen des rechten Magnetschenkels doppelt so groß sein und eine starke Erwärmung desselben eintreten; der kurzgeschlossene Schenkel bleibt kalt.

Kommt bei der Magnetwickelung ein Isolationsfehler vor, so liegt derselbe entweder an der Einführung des ersten Drahtes der Wickelung *E*, Fig. 223, und wird durch Prüfung dieser Stelle gefunden oder an der Berührungsfläche zwischen den Magnetdrähten einerseits und der Magnetbüchse B_1 B_1 B_2 B_2 und den Bordscheiben B_1 B_1 und B_2 B_2 andererseits, dann muss eine Lage der Drähte nach der anderen abge-

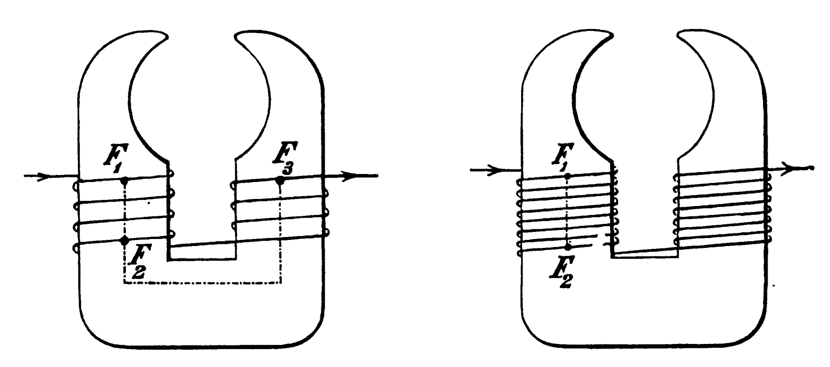


Fig. 221. Prüfung der Isolation des Magnetkupfers gegen das Eisen. Fig. 222.

wickelt werden, bis ein bei *G*, zwischen Kupfer und Büchse eingeschaltetes Galvanometer (Universalgalvanometer, Isolationsprüfer u. s. w.) keinen Schluss mehr anzeigt. Schickt man bei *E* und B_2 Strom in die Magnetwickelung, so kann man schon durch Uebergehen desselben in einen bei *F* oder B_2 einerseits und der Magnetbüchse andererseits angelegten Nebenschluss (Probedraht) das Vorhandensein des Schlusses je eines Poles erkennen.

2. In die Untersuchung der Isolation der Kupferdrähte der Maschine untereinander. Bei diesen Untersuchungen darf das Kupfer der Maschine mit dem Eisen derselben nicht in Verbindung stehen

a) Die gegenseitige Isolation der Ankerdrähte. Die Ankerabtheilung zwischen F_1 und F_2, Fig. 224, sei kurzgeschlossen. Der Kurzschluss, welcher in der Figur durch den strichpunktierten Bogen zwischen F_1 und F_2 angedeutet ist, kann z. B. durch Metallstaub, der durch Schleifen der Bürsten auf dem Kollektor entsteht, oder durch

Beschädigung der Isolation an den Kanten des Ankers oder an dem Kreuze (Ringanker) herbeigeführt worden sein.

Der Strom in den Ankerwindungen wird dann von F_1 aus nicht mehr durch die Abtheilung A, sondern nach F_2 fließen.

In dem Stromkreise $F_1\,A\,F_2\,F_1$ muss, weil derselbe einen sehr geringen Widerstand besitzt, ein starker Strom induciert werden, welcher die Abtheilung A stark erhitzt. An dem entstehenden Geruche kann man einen eintretenden Schluss in den Windungen sofort wahrnehmen, und denselben, wenn er durch Metallstaub herbeigeführt wurde oder eine Isolation der blanken Stelle möglich ist, vor der vollständigen

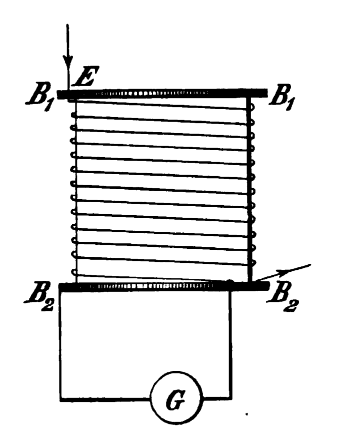


Fig. 223. Schluß in der Magnetbüchse.

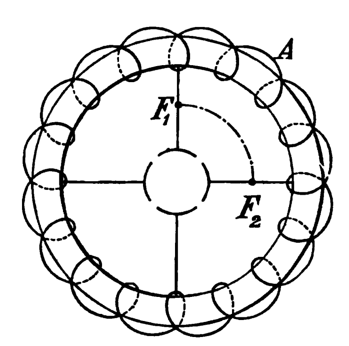


Fig. 224. Schluß im Anker.

Zerstörung der Isolation beheben. Bei den Ringankern lassen sich einzelne Abtheilungen leicht durch neue ersetzen, die Trommelanker müssen häufig bis zur Fehlerstelle abgewickelt werden. Nach Fertigstellung wird der Anker mit den Wellenenden auf 2 Böcke gelagert und in eine Dynamomaschine mit Vorschaltung eines Widerstandes eingeschaltet. Der Widerstand wird so eingestellt, dass die Stromstärke in dem zu untersuchenden Anker dem Querschnitte seiner Drähte entspricht. Erwärmt sich der Anker gleichmäßig und ist kein Übergang zwischen dem Kupfer und Eisen desselben vorhanden, so reicht die Isolation zu.

b) Isolation der Magnetdrähte gegeneinander. Sind Magnetwindungen kurz geschlossen (zeigen z. B. die Drähte einer Lage nebeneinander liegender Drähte mit den darüber gewickelten Drähten der zweiten Lage Schluss), so wird der Strom zwischen den kurz ge-

schlossenen Windungen übergehen, ohne die dazwischen liegenden zu durchfließen. Da jetzt weniger Windungen magnetisierend wirken, ist die Leistung der Maschine bei derselben Stromstärke kleiner. Bei einer Nebenschlussmaschine tritt Erwärmung der nicht kurzgeschlossenen Windungen ein, weil bei gleicher Betriebsspannung die Stromstärke in denselben steigt.

3. In die Untersuchung der Isolation des Eisens der Maschine gegen die Erde.

Ist die Isolatien zwischen dem Kupfer und Eisen der zu prüfenden Maschine und der Außenleitungen gegen die Erde unzureichend, so

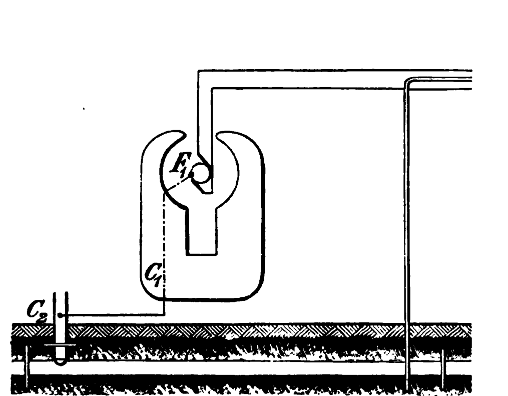



Fig. 225. Eisen- und Kupferschluß gegen Erde.

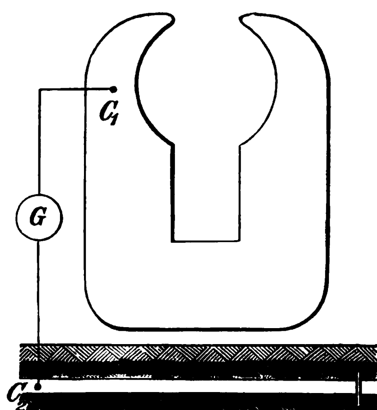


Fig. 226. Prüfung der Isolation des Eisens der Maschine gegen Erde.

muss auch bei diesen Untersuchungen die Außenleitung an den Klemmen der Maschine ausgeschaltet werden.

Für einen sicheren Betrieb ist es erforderlich, dass das Eisen der Maschine von der Erde gehörig isoliert sei, weil dadurch verhindert werden kann, dass sich, wenn einerseits ein Pol der Maschine gegen das Eisen und andererseits der zweite Pol der Leitung gegen die Erde Schluss haben, ein Nebenschluss durch die Erde und das Eisen der Maschine bildet, welcher je nach der Größe seines Widerstandes Strom verbraucht und zur Einstellung des Betriebes, sowie Zerstörung der Isolation des Ankers führen kann. Zeigen, sowie es Fig. 225 veranschaulicht, ein Pol der Maschine Schluss gegen das Eisen (in der Figur Ankereisen) und derselbe Pol der Leitung Schluss gegen die Erde, so ist der Betrieb noch nicht gefährdet, der Fehler jedoch muss sofort behoben werden.

Die Anordnung des Versuches zur Bestimmung der Isolation des Eisens der Maschine gegen die Erde zeigt Fig. 226.

Erweist sich der Widerstand zwischen C_1 und C_2 als sehr groß, so ist die Isolation ausreichend. Eine zwischen C_1 und C_2 eingeschaltete Glühlampe glüht hell, wenn die Maschinen und normale Lampenspannung gleich sind, sobald Kurzschluss zwischen dem Eisen der Maschine und der Erde stattfindet. Ein bei C_1 und C_2 angelegtes Galvanometer (Isolationsprüfer u. s. w.) geben über die Isolation einer stromlosen Maschine gegen die Erde Aufschluss.

176. Unterbrechung im Anker. Eine Messung des Widerstandes des Ankers mit einem Galvanometer (Universalgalvanometer, Messbrücke u. s. w.) lehrt, ob eine Unterbrechung in den Ankerabtheilungen stattfindet oder nicht. Findet eine Unterbrechung statt, so geht die Maschine nicht an, d. h. sie gibt keinen Strom. Versuchsweises Anlegen eines Drahtes an zwei beliebige, mehr oder weniger weit von einander entfernte Kollektorlamellen z. B. an *m* und *n*, Fig. 227, während des Laufes der Maschine zeigt, falls dieselbe dabei angeht, durch das Überspringen kräftiger Funken zwischen den genannten Punkten die Fehlerstelle durch die, infolge dieses Versuches, schadhaft gewordenen Kollektorlamellen an.

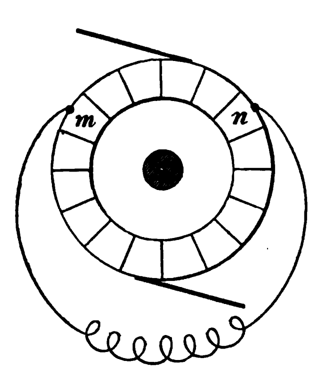


Fig. 227.
Unterbrechung im Anker.

Schlechtes Verlöthen oder Verschrauben der Verbindungsstellen zwischen den einzelnen Abtheilungen oder zwischen den letzteren und den Kollektorlamellen verursachen diesen Fehler sowie das Entstehen schlechter Kontakte an denselben Stellen, wodurch Funkenbildung, Heißwerden und Verbrennen der Kontakte eintreten. In beiden Fällen muss rechtzeitig ausgeschaltet und abgestellt werden.

177. Die Maschine gibt in den folgenden Fällen keinen Strom.

a) Der natürliche oder zurückbleibende (remanente) Magnetismus ist zu schwach, um in den Ankerdrähten Strom zu inducieren; dann muss man die Maschine entweder durch eine zweite erregen (in den Stromkreis einer zweiten Maschine mit vorgeschaltetem Widerstande einschalten) oder folgend behandeln. Eine Serienmaschine geht oft schon an, wenn dieselbe augenblicklich kurzgeschlossen wird oder es zeigt sich durch Verbrennen der Isolation oder Schmelzen der

Kontaktstellen der Fehler an. Bei der Nebenschlussmaschine ist dieses Verfahren nicht anwendbar, da dieselbe durch Kurzschluss stromlos wird.

Fig. 228 zeigt das Schema einer Nebenschlussmaschine.

Zu dem Stromkreise P_1 M P_2 (Magnetstromkreis) sind die beiden Ankerstromkreise P_1 A_1 P_2 und P_1 A_2 P_2 parallel geschaltet. Verbindet man die Pole P_1 und P_2 durch einen Probedraht D, d. h. schließt man die Maschine kurz, so wird, da in dem Stromkreise P_1 D P_2 ein ganz geringer, gegen den Widerstand in den Magneten verschwindend kleiner Widerstand herrscht, der ganze Strom durch diesen fließen.

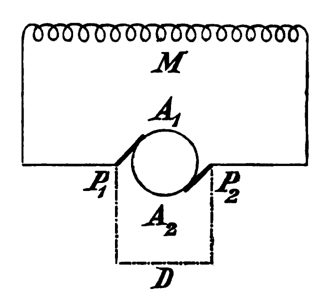


Fig. 228. Kurzschluß einer Nebenschlußmaschine.

Schließt man eine Nebenschlussmaschine kurz, so werden oder bleiben die Magnete stromlos, je nachdem sie früher Strom hatten oder nicht.

Die Nebenschlussmaschine muss deshalb entweder erregt werden oder bei normalen oder höheren Umdrehungszahlen und bei kurzgeschlossener Magnetwickelung solange laufen, bis dieselbe angeht. Die Isolation der Drähte einer Serienmaschine verbrennt und das Kupfer derselben schmilzt, wenn man die Maschine auch nur einige Sekunden kurzschließt. Schließt man den Strom einer Nebenschlussmaschine kurz, so wird derselbe augenblicklich ansteigen, wobei häufig eine Beschädigung der Isolation und das Reißen oder Abwerfen des Riemens eintreten.

b) Die Verbindungen der Drähte im Anker oder in den Magneten, sowie die Verbindungen des Ankers mit den Magneten sind mangelhaft oder gar nicht vorhanden. Diese Verbindungen müssen sorgfältigst geprüft werden. Einen Fehler findet man, geradeso wie früher den kurzen Schluss, durch Widerstandsmessungen oder durch Versuche mit Maschinenstrom; oft kann derselbe schon durch Anziehen von Verbindungsschrauben oder Klemmen behoben werden. Nicht selten sind auch schlechte Kontakte zwischen den Bürsten und dem Kollektor und dem Bürstenhalter und Bürstenstifte vorhanden.

c) Der Anker oder die Magnete zeigen Kurzschluss. Dieser Fall wurde bereits früher besprochen.

d) Die Bürstenstellung entspricht nicht den in § 136 gegebenen Bedingungen.

178. Ursachen der Funkenbildung sind:

a) Die fehlerhafte Einstellung der Bürsten.

b) Eine rauhe oder unreine Oberfläche des Kollektors. Der Kollektor muss vollkommen rund und glatt poliert sein.

c) Unzureichende Kontakte zwischen Bürsten und Kollektor (unrichtige Auflage der Bürsten), den Bürsten und Bürstenhaltern, den Büstenhaltern und Bürstenstiften.

d) Schadhafte Stellen in der Wickelung der Maschine.

e) Ungleichmäßige Vertheilung der Ankerabtheilungen.

f) Unrichtige Berechnung der Maschine, insbesondere falsche Berechnung des Verhältnisses zwischen den im Anker und in den Magneten herrschenden magnetischen Kräften. Die Funkenbildung nimmt mit dem Anwachsen des magnetischen Feldes ab.

g) Die Isolation der Leitung ist schlecht und die Maschine wird infolge von Überbeanspruchung heiß.

h) Das Einschalten zu vieler Lampen oder von Lampen zu hoher Stromstärke.

179. Die Messung der Stromstärken erfolgt entweder direkt mittelst des Ampèremeters oder Elektrodynamometers (Seite 37, Fig. 30) oder indirekt z. B. mittelst des Torsionsgalvanometers (Seite 35, Fig. 28). Die Klemmen *a* und *b* eines Messkabels (Seite 31, Fig. 25), von bekanntem Widerstande werden in den Stromkreis, dessen Stromstärke zu messen ist, eingeschaltet. Ein Torsionsgalvanometer *G* sammt Zusatzwiderstand *Z* bestimmt die Spannung zwischen den Punkten *a* und *b*. Die Stromstärke ist dann gleich dieser Spannung getheilt durch den Widerstand des Messkabels.

Beispiel: Wie groß ist die Stromstärke in einem Stromkreise, wenn die Spannungsdifferenz an den Klemmen eines in denselben eingeschalteten 0·001 Ohm Messkabels 0·1 Volt beträgt?

$$J = \frac{E}{W} = \frac{0{\cdot}1}{0{\cdot}001} = 100 \text{ Ampère.}$$

180. Die Messung von Spannungsdifferenzen besorgen das Voltmeter, das Torsionsgalvanometer u. s. w. Die Spannungsdifferenzen an den Klemmen einer Dynamomaschine, einer Lampe, eines Widerstandes zeigen die letztgenannten Messinstrumente an, wenn man die Klemmen derselben mit denjenigen der Maschine, Lampe oder des Widerstandes verbindet. Die elektromotorische Kraft einer dynamoelektrischen Maschine ist jene Spannungsdifferenz, welche im Anker derselben herrscht; dieselbe setzt sich zusammen aus der Klemmenspannung

der Maschine und aus dem durch den Widerstand des Ankers verursachten Spannungsverlust in demselben.

Die elektromotorische Kraft = Klemmenspannung + Spannungsverlust im Anker. Der Spannungsverlust im Anker ist bestimmt durch die II. Form des Ohm'schen Gesetzes:

$$E = J \times W.$$

Es sei besonders darauf aufmerksam gemacht, dass das Torsionsgalvanometer nicht in der Nähe laufender Maschinen aufgestellt werden soll, da es von in der Nähe befindlichen Strömen oder bewegten Eisenmassen bezüglich seiner Angaben beeinflusst wird.

Beispiel: Der Widerstand des Ankers der Betriebsdynamomaschine an der k. k. Staatsgewerbeschule in Wien, X., $W = 0{\cdot}2$ Ohm, die normale Ankerstromstärke $J = 30$ Ampère. Wie groß ist der Spannungsverlust und die elektromotorische Kraft in diesem Anker bei einer Klemmenspannung von 120 Volt?

$$E = J \,.\, W = 30 \times 0{\cdot}2 = 6 \text{ Volt.}$$

Der Spannungsverlust beträgt 6 Volt, die elektromotorische Kraft $= 6 + 120 = 126$ Volt.

181. Die Widerstandsmessungen (Widerstände der Anker- und Magnetwickelungen). Bei den Messungen der Widerstände der Anker- und Magnetwickelungen ist zu berücksichtigen, dass dieselben mit steigender Temperatur zunehmen. In die Rechnung sind jene Widerstände einzuführen, welche die Maschine nach einem Dauerbetriebe (mindestens 3—4 Stunden) mit voller Leistung besitzt. Die letzteren Widerstände werden zumeist mittels der Messbrücke, des Universalgalvanometers, des Spiegelgalvanometers u. s. w. gemessen.

182. Die Güte des magnetischen Feldes ist durch die Anzahl der zur Selbsterregung erforderlichen Umdrehungen der Maschine bestimmt. Je rascher sich eine Maschine erregt, desto besser ist ihr magnetisches Feld. Ein Stück Eisen (Schlüssel u. s. w.) genügt zur Untersuchung der Güte des magnetischen Feldes. Der Querschnitt des Magneteisens der Dynamomaschine ist dort unzureichend, wo der Schlüssel angezogen wird. Andererseits wird die Dynamo nur dann funkenlos arbeiten, wenn die Anzahl der Ampèrewindungen auf den Magneten im Verhältnisse zum Anker groß ist.

183. Die Bestimmung der Güteverhältnisse (Wirkungsgrade oder Nutzeffekte).

a) Das elektrische Güteverhältnis einer Dynamomaschine bestimmt die Gleichung:

$$G_e = \frac{e.i}{E.J},$$

worin die Buchstaben die in § 130 angegebene Bedeutung haben. Das Produkt $e.i$ stellt den elektrischen Effekt in Volt-Ampère im äußeren Stromkreise, $E.J$ in der Maschine dar. Das Verhältnis der beiden letzten Produkte vergleicht die elektrische Arbeit außer- und innerhalb der Maschine (elektrisches Güteverhältnis, elektrischer Nutzeffekt oder elektrischer Wirkungsgrad).

Beispiel: Es ist das elektrische Güteverhältnis der im letzten Beispiele angenommenen Maschine zu berechnen, wenn die Klemmenspannung 120 Volt, die elektromotorische Kraft des Ankers 126 Volt, der Außenstrom 30 Ampère und der Ankerstrom 32 Ampère betragen.

$$G_e = \frac{e.i}{E.J} = \frac{120 \times 30}{126 \times 32} \backsim 0{\cdot}90 \text{ oder } 90\%.$$

b) Das mechanische Güteverhältnis (mechanischer Wirkungsgrad) ist durch das Verhältnis der Leistung einer Maschine im äußeren Stromkreise zu der gesammten erforderlichen mechanischen Arbeit bestimmt, d. h.

$$G_m = \frac{e.i}{736} \cdot \frac{1}{N}.$$

Der Quotient $\frac{e.i}{736}$ stellt, da eine elektrische Pferdekraft 736 Volt-Ampère gleich ist, die Anzahl der im äußeren Stromkreise geleisteten elektrischen Pferde N_e dar:

$$G_m = N_e \cdot \frac{1}{N} = \frac{N_e}{N}, \text{ d. h.:}$$

Das mechanische Güteverhältnis =

$$\frac{\text{Anzahl der elekt. Pferdekräfte im äußeren Stromkreise.}}{\text{Anzahl der zum Antriebe d. Dynamo erfordl. mech. Pferde.}}$$

Beispiel: Wie groß ist das mechanische Güteverhältnis einer Dynamomaschine bei einer Klemmenspannung von 100 Volt und einer Außenstromstärke von 200 Ampère, wenn zum Antriebe derselben 30 *P. S.* (Pferdestärken) genügen?

$$G_m = \frac{N_e}{N},$$

$$N_e = \frac{e.i}{736} = \frac{100.200}{736} \backsim 27.$$

$$G_m = \frac{27}{30} = 0{\cdot}90 \text{ oder } 90\%.$$

Das Güteverhältnis einer Dynamomaschine hängt von den folgenden Bestimmungsstücken ab:

a) Die Größe der Maschine. Je größer die Dynamo ist, desto größer kann das Güteverhältnis sein. Die Grenzen für das elektrische Güteverhältnis liegen bei gut gebauten Maschinen zu rund 5—100 *P. S.* zwischen 85 und 97%, die Grenzen für das mechanische Güteverhältnis zwischen 80 und 94%. In beiden Fällen wurde die normale Leistung der Maschine vorausgesetzt. Maschinen zu 0·1 *P. S.* geben etwa 30% als mechanisches Güteverhältnis.

b) Die jeweilige Belastung der Maschine. Während bei einer höheren als der normalen Leistung die Güteverhältnisse der Dynamomaschinen die letzten Werte überschreiten, sinken dieselben bis unter die Hälfte der zuletzt angegebenen Werte bei niederer Belastung. Die volle Beanspruchung von Gleichstrommaschinen kann leicht mit Hilfe von Accumulatoren dadurch erfolgen, dass dieselben bei geringerem Stromverbrauche geladen werden.

184. Armaturverluste.

1. Voltverluste im Kupfer. Der Spannungsverlust im Anker ist gleich dem Produkte aus Widerstand (warm) × Stromstärke. Den Widerstand des Ankers kann man messen oder aus den Abmessungen der Windungen berechnen oder aus Tabellen (Siehe Schluss des Buches) ablesen.

2. Verluste durch die Magnetisierungsarbeit (Hysteresis). Der Verlust durch Hysteresis (S. 102 und 103) ist der Anzahl der Perioden pro Sekunde und dem Eisengewichte proportional. Die ersten Untersuchungen über diesen Gegenstand verdanken wir Ewing.[1]) Die folgende Tabelle zeigt den Wattverlust pro cm^3 bei verschiedenen Kraftlinienzahlen während einer vollständigen Periode an. Chas. Prot. Steinmetz[2]) hat eine Formel für die Berechnung der Hysteresisverluste angegeben (S. 103). Hysteresisverlust $= \eta\, \mathfrak{B}^{1 \cdot 6}\, \omega\, V\, 10^{-7}$ Watt, worin $\omega = \frac{np}{60} =$ Periodenzahl, $n =$ Tourenzahl pro Minute, $p =$ = Polpaare, $V =$ Eiseninhalt in cm^3, $\eta =$ Zahlen-Koefficient.

Kraftlinien für 1 cm^2 $\mathfrak{B}$	Wattverlust für 1 cm^3 während einer vollständigen Periode
2000	480 × 10—7
3000	800
4000	1230
5000	1700
6000	2200
7000	2760
8000	3450
9000	4200
10000	5000
11000	5820
12000	6720
13000	7650
14000	8650
15000	9670

[1]) Phil. Trans, Th. II, Nr. 238, 1885; Electrician, Juni 1890 u. s. w.
[2]) Elektrotechnische Zeitschrift 1892, Heft 4.

Tabelle von Hysteresis-Koefficienten nach Chas. Prot. Steinmetz.

Material	η
Sehr weicher Eisendraht (Ewing)	0·002
Sehr dünnes Eisenblech	0·003
Dickes Eisenblech	0·0033
Zweite Sorte Eisenblech	0·0042—0·0045
Geglühter Gussstahl	0·008
Werkzeugstahl	0·0094
Gussstahl von minderer Susceptibilität	0·0120
Gusseisen	0·0162
Gehärteter Gussstahl	0·0250

Tabelle der Hysteresis-Koefficienten η nach Hopkinson.

Material	Zustand	η
Schmiedeisen	geglüht	0·00202
Weicher Bessemerstahl	0·045% C „	0·00262
„ Witworth-Stahl	0·09 „	0·00257
„ „	0·32 „	0·00598
„ „	0·80 „	0·00786
„ „	0·32 in Öl gehärtet	0·00954
„ „	0·89 „ „ „	0·01844
Siliciumstahl	3·44% Si geschmiedet	0·00937
„	„ geglüht	0·00784
„	„ in Öl gehärtet	0·01282
Manganstahl	4·73% Mn wie geschmiedet	0·05963
„	„ geglüht	0·04146
„	8·74 „	0·08184
„	4·73 in Öl gehärtet	0·06706
Chromstahl	0·62% Cr wie geschmiedet	0·01179
„	1·2 „ „	0·01851
„	0·62 geglüht	0·00897
Grauguss	3·47% C 0·17% Mn	0·01826
Weisser Guss	2·04 0·39	0·01616
Spiegeleisen	4·5 8·0	—

Beispiel: Eine achtpolige Maschine arbeitet mit 900 Touren pro Minute, der Kubikinhalt des Armatureisens betrage 20.000 cm^3, die maximale Kraftlinienzahl pro cm^2 10.000; es ist der durch Hysteresis bewirkte Verlust im Anker zu berechnen.

$\omega = \frac{600.4}{60} = 40$. Die Tabelle nach Ewing ergibt für 10.000 Kraftlinien pro cm^2 5000.10^{-7} Wattverlust pro cm^3, während einer vollständigen Periode. Hysteresisverlust $= \eta\, \mathfrak{B}^{1\cdot 6} . \omega\, V\, 10^{-7}$ Watt. Die Tabelle nach Steinmetz gibt für dieses $\eta = 0{\cdot}002$ für sehr weichen Eisendraht. Dünnem Eisenbleche entspricht nach derselben Tabelle 0·003. Rechnen wir demnach mit 0·003, so ist $\eta\, \mathfrak{B}^{1\cdot 6}$ nach der Tabelle 7533, so ist der Hysteresisverlust $= 7533 . 40 . 20000 . 10^{-7} \backsim 603$ Watt. Beträgt die Leistung der Maschine 100 Ampère und 300 Volt = 30000 Watt, so ist 1% dieser Leistung 300 Watt, so dass 603 Watt $\backsim$ 2% der Leistung betragen.

Tabelle von 1·6 Potenzen von B

$\mathfrak{B}$	Werte von $\eta \mathfrak{B}^{1\cdot 6}$ für			$\mathfrak{B}$	Werte von $\eta \mathfrak{B}^{1\cdot 6}$ für		
	$\eta = 0\cdot 002$	$\eta = 0\cdot 003$	$\eta = 0\cdot 004$		$\eta = 0\cdot 002$	$\eta = 0\cdot 003$	$\eta = 0\cdot 004$
500	41·6	62·4	83·2	10500	5432	8148	10864
1000	126·2	189·3	252·4	11000	5850	8775	11700
1500	241·2	361·8	482·4	11500	6282	9423	12564
2000	382·6	573·9	765·2	12000	6726	10089	13452
2500	546·4	819·6	1092·8	12500	7178	10767	14356
3000	731·8	1097·7	1463·6	13000	7642	11463	15284
3500	936·8	1405·2	1873·6	13500	8120	12180	16240
4000	1160	1740	2320	14000	8606	12909	17212
4500	1400	2100	2800	14500	9160	13740	18320
5000	1657	2486	3314	15000	9614	14421	19228
5500	1932	2899	3864	15500	10124	15186	20248
6000	2222	3333	4444	16000	10658	15987	21316
6500	2522	3783	5044	16500	11196	16794	22392
7000	2840	4260	5680	17000	11740	17610	23480
7500	3166	4749	6332	17500	12296	18444	24592
8000	3516	5274	7032	18000	12868	19302	25736
8500	3872	5808	7744	18500	13444	20166	26888
9000	4244	6366	8488	19000	14034	21051	28068
9500	4626	6939	9252	19500	14624	21936	29248
10000	5022	7533	10044	20000	15226	22839	30452

Die Verluste durch Hysteresis sind in Gleichstrommaschinen unbedeutend. Hysteresis ist ein griechisches Wort und heißt: „Das Zurückbleiben". Diese Bezeichnungsweise rührt von J. A. Ewing her und wurde deshalb gewählt, weil bei dem bereits beschriebenen Vorgange (S. 102) die Änderungen des Magnetismus hinter den Änderungen der magnetisierenden Kraft zurückbleiben.

3. Verluste durch Wirbelströme (Foucaultströme). Diese Ströme werden gerade so wie der Ankerstrom durch Induction im magnetischen Felde erzeugt (Siehe auch I. Buch, S. 63, § 66) und treten demnach in sämmtlichen Bestandtheilen der Maschinen auf. Sie üben eine entmagnetisierende Wirkung aus und beeinflussen den Durchgang der Kraftlinien, indem sie eine sogenannte Schirmwirkung ausüben. Diese Ströme treten vorwiegend auf der Oberfläche der Leiter auf, ohne in das Innere einzudringen. Je dicker der Leiter ist, desto weniger tief dringen diese Ströme in das Innere des Leiters ein. Bei Nutenankern entstehen diese Ströme an den Polecken der Magnete, insbesondere dann, wenn der Luftabstand zwischen Ankereisen und Polfläche sehr klein ist. In der Dynamo wird deshalb jenes Poleck heiß, von welchen die Nuten weggedreht werden, im Motor jenes, zu welchem sich die Nuten bewegen. Bei glatten Ankern entstehen die Wirbelströme in den Kupferbarren oder überhaupt in Leitern von starkem Querschnitt, insbesondere auf der ganzen Länge des Leiters zwischen Anker-Mantel und Poloberfläche.

Sie durchfließen deshalb den Leiter nicht so wie die Ankerströme der ganzen Länge nach, sondern nur in seinen kleinen Theilen und bewirken die Erwärmung des Leiters und so Verluste an Watt im Anker. Bei glatten Armaturen darf der Draht deshalb 10 *mm* Durchmesser nicht überschreiten oder es müssen die Leiter aus Litzen hergestellt werden. Diese Litzen bestehen aus einer Reihe von dünnen Drähten, welche sich an der Oberfläche durch Temperatur-Änderungen oxydieren und dadurch von einander isolieren. Die Wirbelströme nehmen mit dem Quadrate der Periodenzahl zu. Bestände die Armatur aus einem massiven Eisenkern, so würden in demselben Induktionsströme in derselben Richtung wie in den Windungen entstehen. Man setzt deshalb den Ankereisenkern aus voneinander isolierten Blechen zusammen (169). Isolierte Eisendrähte werden nicht mehr zum Aufbau des Ankers benutzt, weil dann der magnetische Widerstand des Ankereisens zu groß wird. Da bei solchen Ankerkernen die Isolation schadhaft wird, entstehen außerdem Induktionsströme im Ankereisen.

Den Wattverlust durch Wirbelströme berechnet J. A. Fleming nach den folgenden Formeln:

1. Anker aus Eisendrähten: Wattverlust $= \frac{(d\,\omega\,\mathfrak{B}_{max.})^2\,V}{4.10^{12}}$,

2. Anker aus Blechscheiben: Wattverlust $= \frac{16\,(\alpha\,\omega\,\mathfrak{B}_{max.})^2\,V}{10^{12}}$, wenn

d = Durchmesser des Drahtes in *cm*, ω = Periodenzahl pro Sekunde, α = Dicke der Blechscheiben in *cm*, V = Eiseninhalt in cm^3. Die letzte Gleichung gilt nur für $\alpha \leqq 0{\cdot}1$.

Beispiel: Es ist der Wattverlust durch Wirbelströme in einer vierpoligen Maschine zu 20 Kilowatt, 1000 Touren, $V = 20000$, $\mathfrak{B}_{max.} = 10000$, $\alpha = 0{\cdot}04$, $\omega = 20$ zu berechnen.

$$\text{Wattverlust} = \frac{16\,(0{\cdot}04 . 20 . 10000)^2 . 20000}{10^{12}} \backsim 20 \text{ Watt.}$$

Von 20000 Watt ist 1% = 200 Watt, also 20 Watt = 0·1%.

Weil dieser Verlust mit dem Quadrate der Periodenzahl wächst, hat derselbe für zweipolige Maschinen einen sehr kleinen Wert.

4. Reibungsverluste. Diese Verluste sind: a) Luftreibung, b) Reibung in den Lagern, c) Reibung zwischen Bürsten und Kollektor. Die genannten Verluste können zumeist gänzlich vernachlässigt werden.

Bei Bestimmung der bisherigen Armaturverluste wurde vorausgesetzt, dass die Maschine fehlerlos ist, also eine gute Isolation besitzt und kein magnetischer Kurzschluss durch benachbarte Eisenmassen stattfindet.

Die Verluste durch Hysteresis, Wirbelströme und Reibung sind nach J. & E. Hopkinson (Cardew) in folgender Art nachweisbar: Man

treibt die zu prüfende Maschine mit einer kleinen Maschine an und erregt die Magnete separat durch eine eigene Stromquelle. Die von der zu prüfenden Maschine getilgten Watt repräsentieren die Summe der drei fraglichen Verluste.

5. Gegenseitige Induktion zwischen den einzelnen Ankerwickelungen. Je größer die Anzahl der Windungen in den einzelnen Abtheilungen ist, desto größer erscheint die gegenseitige Induktion. Durch die Bürste wird wenigstens und bestens zugleich eine Anker-Abtheilung kurzgeschlossen, da die Bürste zwei Kollektor-Segmente, zwischen welchen eine Anker-Abtheilung anschließt, miteinander verbindet. Dadurch werden in den benachbarten Abtheilungen Induktionsströme erzeugt. Eine Vermehrung der Abtheilungen vermindert daher die gegenseitige Induktion, da dann in jeder Abtheilung die Windungszahl kleiner wird.

6. Selbstinduktion. Stehen die Bürsten genau zwischen den Polschuhen, so arbeitet die Maschine am besten. Je mehr die Bürsten von dieser Stellung abweichen, desto größer erweist sich der Einfluss der Selbstinduktion. Ein starkes magnetisches Feld (das Produkt aus Ampère $\times$ $\times$ Windungen $\times$ Eisenquerschnitt der Magnete) bedingt eine geringe Bürstenverschiebung.

185. Bestimmung der mechanischen Pferdekräfte.

a) Die Indikatormethode besteht in der Aufnahme eines Indikatordiagrammes an der Dampfmaschine. Die aus dem Diagramme sich ergebenden inducierten *P. S.* geben ein Maß der auf die Dynamomaschine übertragenen Kraft, vorausgesetzt, dass die Dampfmaschine keine weitere Arbeit leistet. Hat die Dampfmaschine außer der Dynamomaschine z. B. Arbeitsmaschinen anzutreiben, so kann diese Methode leicht Irrthümlichkeiten verursachen, da die Belastung der Dampfmaschine dann durch Änderung der Leistung der Arbeitsmaschinen, durch Reibungswiderstände u. s. w. oft innerhalb weiter Grenzen variert.

b) Die Bremsmethode beruht darauf, dass man den Motor (Dampfmaschine, Wassermotor, Gasmotor u. s. w.) unter den Verhältnissen bremst, welche dem Betriebe der Dynamomaschine entsprechen. Diese Methode hat die Nachtheile, dass sie die schwer herzustellenden gleichen Betriebsverhältnisse erfordert und keine, mit den Ablesungen an den elektrischen Messinstrumenten gleichzeitige, Messungen gestattet. Zum Abbremsen der Arbeit eines Motors findet der Prony'sche Zaum (S. 130, §. 130) Verwendung. Verbesserungen stammen von Poncelet, Appold, Deprez, Raffard, James Thomson, Unwin, Carpentier und Ayrton & Perry.

c) Die Dynamometermethode.

Die Einschalt- oder Transmissionsdynamometer werden zwischen den Motor und die Dynamo in die Transmission eingeschaltet, verbrauchen die von dem Motor geleistete Arbeit nicht und ermöglichen mit den elektrischen Ablesungen an den Messinstrumenten gleichzeitige Kraftmessungen. Die Transmissionsdynamometer messen entweder die von dem Riemen oder von der Welle übertragene Kraft. Instrumente der ersten Art sind die Dynamometer nach Siemens & Halske[1]) (F. von Hefner-Alteneck, S. 132, § 131), Bramwell, Tatham, Foude, Kummer u. A.

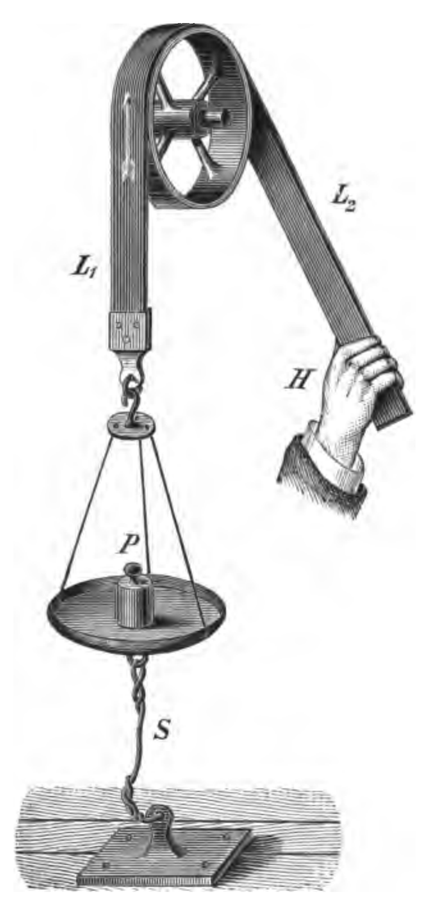


Fig. 229. Bestimmung der Pferdestärken kleiner Motoren.

Die von der Welle übertragene Kraft misst das Dynamometer nach Morin. Dieses Instrument wurde von Easton und Anderson, Heinrichs, Aryton und Perry und F. J. Smith abgeändert.

d) Einfachste Ermittelung der mechanischen Pferdekräfte kleiner Motoren. Auf die Riemenscheibe, Fig. 229, wird ein Riemen L_1 L_2 aufgelegt; derselbe trägt an seinem Ende L_1 auf einer Wagschale das Gewicht P. Dreht sich die Scheibe in der Richtung des eingezeichneten Pfeiles, so wird die am Umfange der Scheibe herrschende Kraft ein Gewicht P tragen. Hält man demnach den Riemen bei H und legt solange Gewichte P auf die Wagschale, bis dieselben noch von der Umfangskraft getragen werden, so geben dieselben sammt den Gewichten der Wagschale, des Riemens auf der Seite der Wagschale und des Seiles S die Umfangskraft an.

Die Wagschale ist durch das Seil S, welches einen Spielraum

---

1) Schröter, Bayr. Instustrie- und Gewerbeblatt, 1883.

zwischen dem Befestigungspunkte desselben und der Wagschale gewährt, zu sichern, da dieselbe sonst vor Herstellung des Gleichgewichtszustandes emporgeschleudert werden kann.

Noch besser als eine Riemenscheibe und ein Riemen eignet sich zur Ausführung obiger Versuche eine Seilscheibe und ein Seil.

Auf obige praktische Messmethode wurde ich zuerst durch Josef Seidener aufmerksam gemacht. Die Messungen geben sehr gute Resultate.

e) Berechnung der Umfangsgeschwindigkeit und der übertragenen Pferdekräfte.

Bezeichnungen:

$P =$ Umfangskraft in kg,
$N =$ Anzahl der übertragenen Pferdekräfte,
$v =$ Umfangsgeschwindigkeit,
$n =$ Umdrehungen in der Sekunde,
$D =$ Durchmesser der Riemenscheibe in Meter.

Macht die Riemenscheibe in der Sekunde 1 Umdrehung, so ist der von einem Punkte am Umfange derselben in der Sekunde zurückgelegte Weg (die Umfangsgeschwindigkeit)

$v_1 =$ der Länge des Umfanges der Scheibe in Meter,
$v_1 = \pi D$ Meter.

Macht die Scheibe in der Sekunde n Umdrehungen, so ist die Umfangsgeschwindigkeit eines Punktes am Umfange derselben

$$v = v_1 n \text{ oder}$$
$$v = \pi D . n.$$

Hat die Umfangskraft den Wert $P kg$, so ergibt sich damit die geleistete Arbeit (Kraft mal Weg) in $m kg = Pv$ und da 1 Pferdekraft $(1 N) = 75 \ m kg$ ist, sind die Anzahl der übertragenen Pferdekräfte

$$N = \frac{P . v}{75} .$$

Beispiel: Die Riemenscheibe einer Maschine hat einen Durchmesser von 0·3 Meter.

Wie groß ist die Umfangsgeschwindigkeit v eines Punktes der Riemenscheibe, wenn die Maschine in der Sekunde 20 Umdrehungen macht?

$v = \pi Dn$,
$v = 3 \cdot 14 \ . \ 0 \cdot 3 \ . \ 20 = 18 \cdot 84 \ m$ in der Sekunde.

Die Umfangsgeschwindigkeit eines Punktes in der Mitte des Riemens (Riemengeschwindigkeit) ist unbedeutend größer, weil für die Berechnung derselben zu dem Durchmesser D der Riemenscheibe die einfache Riemendicke addiert werden muss.

Beispiel: Wie groß sind mit Benützung der Angaben im letzten Beispiele, die übertragenen Pferdekräfte, wenn die Umfangskraft $P = 80$ *kg* beträgt?

$$N = \frac{P \cdot v}{75} = \frac{80 \cdot 18{\cdot}84}{75} = 20{\cdot}093 \text{ Pferdekräfte.}$$

f) Die Gleichgewichtsmethode ist insbesondere bei kleinen Maschinen anwendbar, weil dieselben durch mit Reibungswiderständen behaftete Instrumente keine genauen Messungen ermöglichen. Man lagert die zu untersuchende Maschine mit ihrer Welle auf Drehpunkte oder in Reibungsrädern und balanciert das Gewicht der Feldmagnete und des Gestelles der Maschine durch Gegengewichte aus.

Schickt man durch die Maschine Strom, so erhalten der Anker und die Magnete das Bestreben, in verschiedenen Richtungen zu rotieren. Eine Federkraft, welche dazu dient, das Gleichgewicht in jedem Augenblicke herzustellen, misst die übertragene Kraft.

g) Die elektrischen Methoden werden mit zwei oder mehreren Dynamomaschinen ausgeführt und sind viel zuverlässlicher, als alle mechanischen Methoden.

J. & E. Hopkinson (§ 185) verbinden zwei ähnliche Dynamomaschinen elektrisch und mechanisch. Die angetriebene Maschine gibt ihre Kraft an dieselbe Welle ab, wie der Antriebsmotor. Die Kraft des letzteren muss durch ein Dynamometer gemessen werden. In den elektrischen Methoden von Cardew, Menges, Ravenshaw & Swinburne sind mechanische Messungen gänzlich vermieden.

186. Vortheile beim Prüfen der Maschinen und Motoren.

1. Die Prüfung einer Dynamomaschine mit einem Motor, dessen Leistung geringer ist, als der Kraftbedarf der ersteren.

Beispiel: Eine Dynamomaschine I zu 100 *P. S.*, Fig. 230, soll mittelst eines Motors *M*, zu 20 *P. S.* ausprobiert werden.

Bei den Proben der Dynamomaschine wird gewöhnlich ein, der normalen Beanspruchung derselben entsprechender Widerstand oder eine Lampenbatterie in den äußeren Stromkreis eingeschaltet; es ist selbstverständlich, dass dann zum Antriebe der Dynamomaschine die volle motorische Kraft vorhanden sein muss.

Schickt man jedoch, Fig. 230, den Strom aus der zu prüfenden Maschine I in eine zweite Dynamomaschine (Elektromotor) II und treibt mittelst dieser die gemeinsame Welle *W* an, so ist zu dieser Probe nur so viel elektrische Kraft erforderlich, als

a) durch den Umsatz der mechanischen Kraft des Motors *M* in elektrische Arbeit in der Dynamo I,

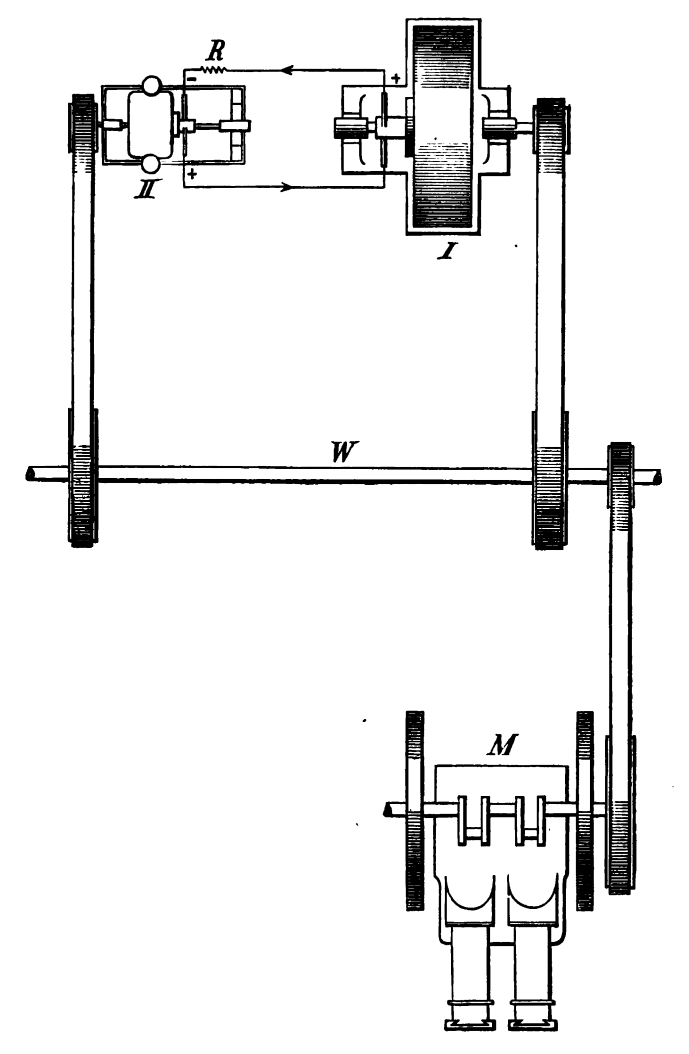


Fig. 230. Prüfungen einer Dynamo zu 100 *P. S.* mit einem Motor zu 20 *P. S.*

b) durch den Umsatz der elektrischen Arbeit in der Dynamo I in mechanische Arbeit (Antrieb der Welle *W* durch den Elektromotor II) und

c) durch das gemeinsame Vorgelege verloren geht.

Diese Verluste übersteigen bei wirtschaftlichen Dynamomaschinen (Maschinen mit hohem Güteverhältnisse) zu 100 *P. S.* nie 20 *P. S.* Eine

15*

motorische Anlage von etwa 20 *P. S.* genügt bei Anwendung dieser Methode zur Prüfung von Dynamo bis zu einer Leistung von etwa 100 *P. S.*

Vorsichtshalber wird man zwischen den Maschinen I und II einen Rheostat *R* einschalten, um schon bei niederen Leistungen die Stromverhältnisse regulieren zu können. Bei der vollen Leistung muss der Rheostat kurzgeschlossen sein, wenn nicht Kraftverluste durch denselben eintreten sollen. Der Kurzschluss des Rheostates *R* hat bei richtiger Wahl der Riemenscheiben (der Übersetzungsverhältnisse) auch bei voller Leistung keine Schwierigkeiten, wenn der Elektromotor II mindestens für dieselbe Spannung gebaut ist, wie die Maschine I.

2. Verbindet man eine Reihe von Dynamo und Elektromotoren mechanisch, beziehungsweise elektrisch mit einander, so kann man mit Hilfe eines mechanischen Motors eine Reihe von Dynamo, beziehungsweise Elektromotoren gleichzeitig ausprobieren und deren mechanische Güteverhältnisse zuverlässig bestimmen.

Die Anzahl der Pferdekräfte des mechanischen Motors muss dann den Verlusten in den einzelnen Dynamo und Elektromotoren gleich sein.

Treibt man z. B. von einem mechanischen Motor aus eine 1. Dynamo an, speist mit dem Strome derselben einen Elektromotor und benützt diesen zum Antriebe einer 2. Dynamo, so gibt das Verhältnis der Volt-Ampère an der 1. Dynamo zu dem Verhältnisse der Volt-Ampère an der 2. Dynamo das mechanische Güteverhältnis des Elektromotors sammt der 2. Dynamo.

Sind Elektromotor und Dynamo gleich groß (gleicher Leistung), so zerfällt der gesammte Verlust in zwei gleiche Theile.

Beispiel: Die 1. Dynamo gibt bei obiger Anordnung 20000 Watt, die 2. Dynamo 18000 Watt.

Wie groß ist das mechanische Güteverhältnis des Elektromotors sammt der 2. Dynamo, wenn beide gleiche Abmessungen (beziehungsweise Leistungen) haben?

Der gesammte Verlust steht in dem Verhältnisse

$$\frac{18000}{20000} = 0{\cdot}90 \text{ oder } 90\%.$$

Das mechanische Güteverhältnis des Elektromotors sammt der 2. Dynamo beträgt daher 90%.

Da in beiden Maschinen 10% verloren gehen, muss der Verlust in jeder Maschine (Elektromotor und Dynamo) 5% sein. Das mechanische Güteverhältnis jeder Maschine ist daher 95%.

VI. Kapitel.

Theorie der dynamoelektrischen Maschinen und Motoren.

187. Grundgleichung der Dynamomaschinen.

Bezeichnungen:

E = Elektromotorische Kraft im Mittel,

n = Anzahl der Umdrehungen in der Sekunde,

C = Anzahl der Leiter auf dem äußeren Umfange des Induktors (Giltig für Siemens-Trommeln und Gramme-Ringe),

N = Gesammtzahl der magnetischen Kraftlinien im Eisenkerne des Induktors.

Bewegt man einen Leiter innerhalb eines gleichförmigen (homogenen) magnetischen Feldes, so ist die elektromotorische Kraft E der Bewegung in CGS Einheiten (10^{-8} Volt) durch die Anzahl der Kraftlinien gegeben, die der Leiter in einer Sekunde schneidet.

Beträgt die Gesammtzahl der Kraftlinien des magnetischen Feldes N (fließen N Kraftlinien durch den Eisenkern des Ankers), so schneidet jeder Leiter während einer Umdrehung die Gesammtzahl dieser Kraftlinien N zweimal; d. h. die Anzahl der von einem Leiter am Umfange des Induktors während einer Umdrehung geschnittenen Kraftlinien $= 2\,N$.

Macht der Leiter n Umdrehungen in der Sekunde, so werden von demselben in dieser Zeit $2\,n\,N$ Kraftlinien geschnitten.

Die elektromorische Kraft setzt sich nun zusammen aus der Summe der elektromotorischen Kräfte der hintereinander geschalteten Drähte. Die Anzahl der hintereinander geschalteten Drähte ist gleich der Hälfte sämmtlicher Leiter (Drähte) am Umfange des Induktors, also gleich $\frac{C}{2}$, weil ja nur immer die Hälfte der Drähte des Ankers hintereinander und diese beiden Hälften dann parallel geschaltet sind.

Die Anzahl der von der Hälfte der Leiter am Umfange $\left(\frac{C}{2}\right)$ geschnittenen Kraftlinien stellt sich demnach auf $2\,n\,N \cdot \frac{C}{2} = n\,C\,N$; dieses Produkt gibt zugleich die mittlere elektromotorische Kraft in CGS Einheiten an.

Da 1 CGS Einheit der elektromotorischen Kraft $= 10^{-8}$ Volt $= \frac{1}{10^8}$ Volt, so erhält man für die mittlere elektromotorische Kraft in Volt

$$E = \frac{n \cdot C \cdot N}{10^8} \text{ Volt.}$$

188. Einführung der Winkelgeschwindigkeit in die Grundgleichung. ω bedeute die Winkelgeschwindigkeit, d. h. den von einem Leiter auf dem Umfange des Induktors in einer Sekunde zurückgelegten Weg.

Während einer Umdrehung legt der Leiter den Weg $2\pi r$ oder, wenn wir den Radius r (den Abstand der Mittellinie des Leiters von der Mittellinie des Induktors) als Einheit annehmen ($r = 1$ setzen), den Weg 2π zurück.

Macht der Leiter in der Sekunde n Umdrehungen, so ist der von ihm in der Sekunde zurückgelegte Weg, d. h. seine Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega = 2\pi n \text{ oder}$$

$$n = \frac{\omega}{2\pi}.$$

Mit Benützung dieser Beziehung geht die Grundgleichung:

$$E = n \cdot C \cdot N \quad CGS \text{ Einheiten}$$

in die Gleichung

$$E = \frac{\omega}{2\pi} \cdot C \cdot N \quad CGS \text{ Einheiten über.}$$

189. Summierung der einzelnen elektromotorischen Kräfte während einer Umdrehung. Die Ordinaten einer Sinuslinie (I. Buch, S. 115, Fig. 99) stellen die aufeinanderfolgenden elektromotorischen Kräfte während einer Umdrehung dar. Jene Ordinaten, die sich oberhalb der Abscissenachse befinden, geben die + durch einen Pol, dagegen jene Abscissen, die sich unterhalb der Abscissenachse befinden, die — durch den 2. Pol erzeugten elektromotorischen Kräfte an.

Silv. P. Tompson hat eine Methode, Fig. 231, angegeben, um die zwischen den einzelnen Kommutatorlamellen herrschenden Spannungsdifferenzen versuchsweise zu bestimmen. Zwei isoliert mit einander fest

verbundene Bürsten b_1 und b_2 sind so angebracht, dass sie zwei nebeneinander liegende Kommutatorlamellen berühren. Die Bürsten b_1 und b_2 sind mit den Klemmen eines Spannungsmessers V verbunden. Hält man die Bürsten gegen den rotierenden Kommutator (Kollektor), so kann man in jeder beliebigen Stellung zwischen je zwei Kollektorlamellen die Spannung messen.

W. M. Mordey untersucht in ähnlicher Weise den Verlauf der elektromotorischen Kräfte, indem er den einen Draht eines Voltmeters mit einer Bürste, den anderen dagegen mit den aufeinanderfolgenden Kollektorlamellen in Berührung bringt.

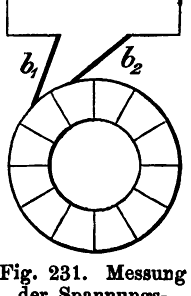


Fig. 231. Messung der Spannungsdifferenz zwischen den Kollektor-Lamellen.

Die in den obigen Figuren wiedergegebenen Bilder erhalten wir nur dann, wenn die Maschine fehlerlos ist.

Obige Untersuchungen erscheinen deshalb zu den folgenden Zwecken geeignet:

1. Einfache Auffindung von Fehlern, die sich vorwiegend auf den Anker und die Polschuhe beziehen.

2. Genaue Angabe der nützlichsten Einstellung der Bürsten.

Liegen die Bürsten oben und unten (bei 0° und 180°), I. Buch, Fig. 98, auf, so herrscht zwischen denselben die größte Spannungsdifferenz; diese sinkt in den Stellungen links und rechts einer zwischen 0° und 180° gezogenen Linie und wird in der Stellung der Bürsten 90° und 90° gleich Null sein.

Verbindet man deshalb die Kollektorlamellen gleicher Spannung z. B. 45° mit 45°, 90° mit 90°, 135° mit 135° u. s. w., so wird, falls die Maschine fehlerlos ist, kein Strom übergehen.

Diese Methode habe ich insbesondere beim fabriksmäßigen Prüfen dynamoelektrischer Maschinen und Motoren, bei der Untersuchung der Anker außerhalb der Maschinen angewendet, welche in den Stromkreis einer Dynamo eingeschaltet waren. Bei einem solchen stromdurchflossenen Anker muss weiters die Erwärmung der Windungen auf dem ganzen Umfange des Induktors gleichmäßig und das Ankerkupfer von dem Ankereisen wohl isoliert sein.

Durch die Bürsten werden je zwei Kollektorlamellen und dadurch die mit denselben verbundenen Wickelungsabtheilungen kurz geschlossen. Da sich jedoch diese kurzgeschlossenen Abtheilungen in der neutralen Zone befinden, wird in ihnen kein Strom induciert.

VII. Kapitel.

Berechnung dynamoelektrischer Maschinen und Motoren.

190. Versuchsmaschinen. Die Grundlage für die Berechnung von Dynamomaschinen, welche alle Anforderungen erfüllen sollen, bildet die Erfahrung auf dem Gebiete des Dynamomaschinenbaues und die Kenntnis der bestehenden Theorien. Um es selbst dem Anfänger zu ermöglichen Dynamomaschinen zu berechnen, habe ich mich bemüht, die wichtigsten Erfahrungen, die sich in meiner vieljährigen praktischen Thätigkeit auf dem Gebiete des Dynamomaschinenbaues stets bewährt haben, zusammenzustellen. Nur wer ausgeführte und erprobte Maschinen nachgerechnet und konstruiert hat, wird imstande sein, erfolgreich selbst zu schaffen. Ich sah mich deshalb veranlasst, in der folgenden Tabelle die Angaben über einige von mir ausgeführte Versuchsmaschinen in runden Zahlen wiederzugeben.

Tabelle.

Leistung		Kilowatt	3·85	13·2	27·5
		Volt	110	110	110
		Ampère	35	120	250
		Umdrehungen in der Minute	900	850	800
Anker	Durchmesser des Ankereisens in *cm*	Außen	26	40	46·5
		Innen	13	23	23
		Länge des Ankereisens in *cm*	17	28	35
		Weglänge der Kraftlinien in *cm*	30·6	49·5	54·5
		Drahtstärke in *cn* blank	0·25	0·55	0·8
		Gesammtwiderstand in Ohm kalt	0·38	0·0253	0·012
		Gesammtdrahtgewicht in *kg* blank	13·5	29·27	70
		Anzahl der Lagen	2	1	1
		Anzahl der Abtheilungen	44	50	50
		Anzahl der Windungen in der Abtheilung	3	2	2
		Anzahl der Drähte am Umfange	528	200	168
		Gesammtdrahtlänge in *m*	306	—	—

Tabelle.

Magnete	Durchmesser der Bohrung in *cm*	28·1	42·4	49·5
	Querschnitt in cm^2	227	616	962
	Abstand zwischen den Schenkeln in *cm*	10·8	13·8	16
	Wickelungshöhe in *cm*	20	27	32
	Weglänge der Kraftlinien in *cm*	111·8	173	240
	Magnetampère	3	5·5	6·1
	Drahtstärke in *cm*	0·14	0·22	0·23
	Gesammtwiderstand in Ohm	35	20	18
	Drahtgewicht eines Schenkels in *kg*	17	55·5	71
	Anzahl der Lagen	16	18	18
	Anzahl der Windungen in der Lage	116	114	114
	Magnetkörper in *kg*	220	900	1500
Güteverhältnis in %	Elektrisches	76	90·4	95
	Mechanisches	71	86	91·5
Raumbedarf	Länge in *mm*	600	1200	2100
	Breite in *mm*	300	750	850
	Höhe in *mm*	650	1000	1100
Gewicht in *kg*	Nettogewicht der ganzen Maschine	350	1500	2400
	Gesammtkupfergewicht	47	146	220

Die Magnetform dieser Maschinen gehört der 1. Gruppe, Fig. 232, an. Die Induktoren sind glatte Siemenstrommeln, die beiden hintereinander geschalteten Magnetwickelungen parallel an den Induktor angeschlossen (Nebenschlussmaschinen). Die Eisenkerne der Induktoren waren mittelst eines Kreuzes aus Messing auf die Welle aufgekeilt.

Bei einer endgiltigen Ausführung würde sich das direkte Aufsetzen der Eisenkerne auf die Welle empfehlen. Unter Aufwendung von mehr Kupfer auf den Magneten lässt sich das Güteverhältnis der Versuchsmaschinen steigern.

191. Verwertung der Versuchsmaschinen für die Berechnung sämmtlicher Gleichstrommaschinen. Die Angaben in der Tabelle können aus den folgenden Gründen bei sämmtlichen Dynamo für Gleichstrom, gleiche Eisenquerschnitte vorausgesetzt, Anwendung finden:

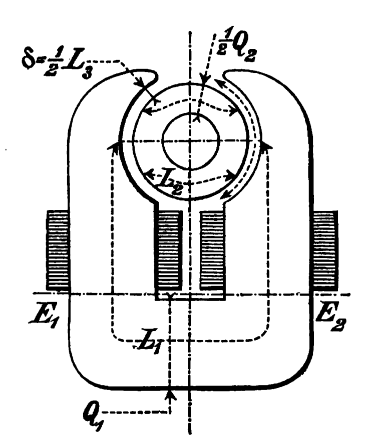


Fig. 232. Form der Versuchsmaschinen.

1. Für Serien-, Nebenschluss- und gemischt geschaltete Maschinen sind die magnetischen Felder (Anzahl der Ampèrewindungen auf dem Anker und auf den Magneten) bei allen diesen Maschinen für dieselbe Leistung annähernd gleich stark.

2. Die magnetischen Felder können bei allen Magnetformen für dieselbe Leistung annähernd gleich stark gewählt werden.

3. Mehrpolige Maschinen sind als mehrfache zweipolige Maschinen anzusehen.

192. Die gestellte Aufgabe. Bei der Berechnung einer Dynamo handelt es sich immer darum, zusammengehörige Werte von Volt, Ampère und Umdrehungen für eine bestimmte normale Leistung im Vorhinein anzugeben.

193. Umrechnung einer Maschine auf eine gleich leistungsfähige anderer Spannung. Eine Versuchsmaschine hat die Leistung 110 Volt, 120 Ampère also 13200 Watt bei 850 Umdrehungen. Folgende praktische Regeln ermöglichen dann die Berechnung irgend einer Gleichstrommaschine von 13200 Watt bei 850 Umdrehungen:

1. Für gleichleistungsfähige Maschinen können derselbe Magnetkörper und Ankereisenkern Verwendung finden.

2. Wird eine Maschine von höherer auf eine andere niederer Spannung umgerechnet, so kann bei hohen Unterschieden in der Spannung die Leistung bis 20% höher sein, weil

a) die Querschnitte der Drähte mit den linearen Dimensionen wachsen und

b) die Isolation einen geringeren Raum einnimmt.

194. Änderung der Umdrehungszahl bei gleicher Leistung. Soll eine der in der Tabelle angegebenen Versuchsmaschinen auf eine Maschine umgerechnet werden, welche dieselben Watt, aber andere Umdrehungen gibt, dann gilt die Regel:

Die Eisen- und Kupfergewichte, die Stärke des magnetischen Feldes, der Ankerdurchmesser und die Anzahl der Ankerwindungen sind der Umdrehungszahl umgekehrt proportional.

195. Maschinen für hohe Leistungen. Ist eine Maschine mit einer höheren Leistung als die der Versuchsmaschinen zu berechnen, dann leisten folgende Regeln gute Dienste:

1. Eine Maschine, welche das $1^1/_2$fache Eisen- und Kupfergewicht hat, leistet das Doppelte.

2. Eine Maschine, von doppeltem Eisen- und Kupfergewicht leistet das Doppelte bei geringerer Umdrehungszahl (rund 2 : 3)

3. Maschinen für eine Leistung von 1500 bis 100000 Watt geben 7 bis 14 Watt für je 1 *kg* des Gesammtgewichtes der Maschine. Dabei sind mittlere Umdrehungszahlen, den angegebenen Versuchsmaschinen entsprechend, vorausgesetzt.

Maschinen mittlerer Größen geben demnach beiläufig 10 Watt für je 1 *kg* des Gesammtgewichtes.

196. Umdrehungszahl. Je mehr Umdrehungen eine Maschine macht, desto größer ist ihre Leistung. Die Leistung wächst so, wie die Umdrehungszahl.

Lässt man in einer Dynamo oder in einem Elektromotor die Magnete und den Anker gegeneinander laufen, so kann man die Umdrehungszahl auf die Hälfte herabdrücken.

197. Maschinen mit Nuten- und Lochankern. Maschinen mit Nuten- und Lochankern geben bei gleichen Eisenkernabmessungen, gleicher Wickelung des Ankers und bei sonst gleicher Maschine eine geringere Umdrehungszahl (2 : 3).

198. Wahl der zulässigen Beanspruchung. Kupfer (und andere) Drähte von kleinerem Durchmesser können stärker beansprucht werden, als solche von größerem Durchmesser.

Bei Drähten von rund 5 *mm* Durchmesser beträgt die mittlere Beanspruchung für den Anker 3 Ampère für 1 mm^2. Litzenförmige Ankerwindungen können bei demselben Gesammtkupferquerschnitte einer Windung stärker beansprucht werden, als massive Drähte; letztere sind höchstens bis zu 8 *mm* Durchmesser anwendbar, weil sonst die Wirkung der Wirbel- (Foucault-) Ströme in denselben zu stark wird. Anstatt dicker Drähte verwendet man besser parallel laufende schwächere Drähte oder Litzen von unbedeutend geringerem Gesammtquerschnitte.

Für die Magnetdrähte gelten als mittlere Beanspruchung 2 Ampère für 1 mm^2.

Den bisherigen Beanspruchungen entsprechen glatte Anker. Nuten- und Lochanker können stärker beansprucht werden; für einen 5 *mm* Draht gelten hier 4 Ampère für 1 mm^2 als zulässige Beanspruchung.

199. Isolation. Die Isolation der Ankerdrähte ist bei schwächeren Drähten dünner, als bei starken Drähten. Für mittlere Drähte (4 *mm* Durchmesser) kann man 0·5 *mm* für jeden Ankerdraht rechnen. Die Magnetdrähte sind in der Regel bei Nebenschlussmaschinen (und bei den Nebenschlusswickelungen der Compoundmaschinen) schwächer als 4 *mm*. Für mittlere Leistungen (rund 15000 Watt) beträgt der Drahtdurchmesser auf den Magneten rund 2 *mm*; dann genügt eine Isolation von 0·4 *mm* für jeden Draht. Höhere Spannungen erfordern besondere Isolation.

Die Scheiben, aus denen die Anker aufgebaut sind, bestehen aus weichstem Eisenbleche. Die einzelnen Scheiben sind 0·3 bis 0·5 *mm* dick und durch dünnes Papier von einander isoliert. Bei 0·5 *mm* Eisenblechen beträgt die Isolation ungefähr $^1/_{15}$ der Länge des Ankers (rund 7%); 100 Bögen solchen Papieres sind etwa 4 *mm* dick.

Für niedere Spannungen werden in der Regel die Anker und Magnetdrähte nur mit Baumwolle umsponnen. Für höhere Spannungen dagegen müssen diese mit isolierenden Flüssigkeiten (Schellack in reinem Spiritus aufgelöst u. s. w.) getränkt werden; besser als baumwoll- sind zwirn- und noch besser seidenumsponnene Drähte. Für sehr hohe Spannungen müssen sehr gut isolierende Zwischenlagen angewendet werden. Gegen Feuchtigkeit schützen Drähte in Gummi-, gegen Hitze solche in Asbesthüllen.

200. Anzahl der Lagen. Die Anker der Versuchsmaschinen haben im Verhältnis zu ihrer Leistung große Durchmesser. Selbst für kleinere Durchmesser, bis zu Leistungen von 10000 Watt herab, reicht 1 Lage von Drähten aus,

von 10000 Watt bis 3000 Watt herab sind 2 Lagen,
von 3000 „ „ 1500 „ „ „ 4 „ und
von 1500 „ „ 200 „ „ „ 4 „ bis 8 Lagen
erforderlich.

201. Anzahl der Abtheilungen. Die Anzahl der Abtheilungen steigt mit der Spannung proportional. Für mittlere Spannungen (100 bis 200 Volt) genügen beiläufig 50 Abtheilungen (Kollektorsegmente). Je größer die Anzahl der Abtheilungen ist, desto besser arbeitet die Maschine; die Kosten des Kollektors jedoch steigen mit der Anzahl derselben.

202. Magnetisches Feld. Je stärker das magnetische Feld einer Maschine ist, desto besser arbeitet dieselbe. Das magnetische Feld muss so lange verstärkt werden, bis die Maschine, wenn dieselbe keine sonstigen Fehler zeigt, keine Funken gibt und die Bürsten annähernd senkrecht auf der Verbindungslinie der Pole auf dem Kollektor liegen. Das Produkt Ampère mal Windungen mal Ankereisenquerschnitt soll kleiner sein, als das Produkt der entsprechenden Größen auf den Magneten.

203. Wirksamer Ankerdraht. Induciert wird nur jener Ankerdraht, welcher am äußersten Umfange (also direkt zwischen dem Eisenkerne des Ankers und den Polflächen) liegt.

204. Anker. Aus der Grundgleichung

$$E = \frac{n \,.\, C \,.\, N}{10^8}$$

geht hervor, dass die Spannung E der Dynamo der Umdrehungszahl n, der Anzahl der Ankerleiter C und der Anzahl der Kraftlinien N gerade proportional ist. Je größer diese 3 Faktoren sind, desto größer ist die Leistung der Maschine.

Obige Gleichung bildet die Grundlage für die theoretische Berechnung elektrischer Maschinen und Motoren.

Für die Versuchsmaschine zu 13200 Watt lautet die Grundgleichung:

$$N = \frac{7 \cdot 85 \,.\, 10^8}{200} = 4000000 \text{ Kraftlinien.}$$

Die Anzahl der Kraftlinien für 1 cm^2 Ankereisenquerschnitt ist zweckmäßig höchstens 12000.

Bei der Versuchsmaschine zu 13200 Watt ergibt sich der Wert $\frac{4000000}{442} = 9500$ Kraftlinien für 1 cm^2.

Zu viele Ampèrewindungen auf dem Anker verursachen leicht Funkenbildung. Gute Resultate geben die Querschnitte der Versuchsmaschinen. Die Anzahl der Ampèrewindungen beträgt bei der Versuchsmaschine zu 13200 Watt, 12000, die Anzahl der Ampèrewindungen auf den Magneten rund 23000.

205. Eisenquerschnitt. Für die Bemessung der Eisenquerschnitte ist der Verlauf der magnetischen Kraftlinien bestimmend. Dort, wo eine gleiche Anzahl von Kraftlinien fließen, muss auch der gleiche Eisenquerschnitt vorhanden sein.

So muss z. B. bei der Maschine, Fig. 232, der Magneteisenquerschnitt auf dem ganzen Wege der Kraftlinien derselbe sein. Durch den Anker fließen die Kraftlinien in zwei parallelen Zweigen (Hälften). Der gesammte Eisenquerschnitt des Ankers muss deshalb, bei gleichem Materiale, dem Querschnitte des Magneteisens gleich sein.

Da bei der Maschine, Fig. 233, zwei magnetische Stromkreise vorhanden sind, ist der Querschnitt des Magneteisenkern dem halben Querschnitte des Ankereisens gleich u. s. w.

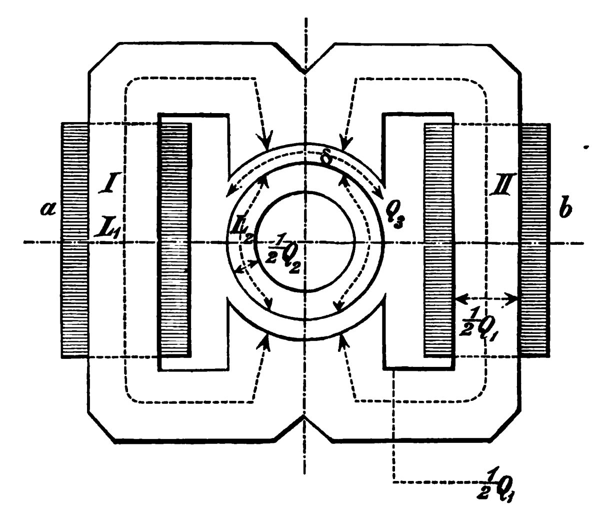


Fig. 233. Dynamo mit zwei magnetischen Stromkreisen.

206. Feldmagnete. Das Material für die Feldmagnetkerne liefern Stahlguss, Schmiedeeisen und Gusseisen. Die besten Materialien sind Stahlguss und Schmiedeeisen, das billigste Material Gusseisen. Stahlguss hat beinahe dieselbe Güte als Schmiedeeisen, unterliegt jedoch großen Schwankungen.

Die magnetischen Widerstände von Gusseisen zu Schmiedeeisen (und Stahlguss) verhalten sich annähernd wie 2 : 3. Für Gusseisen wählt man in der Regel 7000, für Schmiedeeisen und Stahlguss höchstens 12000 Kraftlinien für 1 cm^2. Nimmt man den Streuungskoëfficienten mit 1·5 an (werden 50% der Kraftlinien an die Luft verstreut), so ist die Anzahl der in den Magneten erforderlichen Kraftlinien = 4000000 . 1·5 = 6000000 (für die Versuchsmaschine zu 13200 Watt) und für 1 cm^2

6000000 : 616 ∾ 9800 Kraftlinien für 1 cm^2.

207. Wechselstrommaschinen. Die Wechselstrommaschinen haben entweder eigene oder fremde Erregung. Die eigene Erregung besteht darin, dass ein Theil des Ankerstromes (der Strom einer oder mehrerer Ankerspulen) die Magnete erregt. Bei der fremden Erregung speist eine Gleichstrommaschine die Magnete der Wechselstrommaschine. Verwendet man ein und dieselbe Maschine mit einem Kommutator und nimmt Gleichstrom ab, so ist die Leistung und der Kraftbedarf bei einem bestimmten äußeren Widerstande größer, als wenn man dieselbe Maschine mit 2 oder mehreren Schleifringen versieht und Wechselstrom oder Wechselströme abnimmt. Das Gesammtgewicht der Wechselstrommaschinen und Motoren stellt sich, dasselbe Gesammtgüteverhältnis der Maschinen vorausgesetzt, höher, als das Gewicht gleichgroßer Gleichstrommaschinen und Motoren.

208. Motoren. Die für Dynamomaschinen angegebenen Regeln gelten gleichzeitig für Elektromotoren; auch werden nur für besondere Zwecke andere Modelle gewählt.

Speist man eine Dynamo mit ihrer eigenen Leistung, so gibt sie bei denselben Umdrehungen eine Kraft, die sich rund 10% niederiger stellt, als die zum Antriebe der Dynamo erforderlichen Pferdestärken. Schaltet man einen Motor ohne Zwischenschaltung von Widerständen in eine Dynamo ein, so wird die Stromstärke dem niederen Ohm'schen Widerstande, der sich dann in dem Stromkreise befindet, entsprechend, sehr groß sein. Sobald der Anker des Motors rotiert, wird in ihm eine elektromotorische Gegenkraft erzeugt, so zwar, dass bei der Berechnung der sich nun ergebenden Stromstärke in das Ohm'sche Gesetz nicht mehr die Maschinenspannung, sondern die Differenz der Spannungen der primären und sekundären Maschine einzusetzen ist. Die Stromstärke wird demnach so lange sinken, bis sich die Stromverhältnisse auf die Belastung eingestellt haben. Steigt dann die Belastung, so sinken die Umdrehungen des Motors, die elektromotorische Gegenkraft wird kleiner und die Stromstärke größer. Für kurze Zeit nimmt jeder Gleichstrom-Elektromotor die mehrfache Belastung. Beim Serienmotor ändern sich die Stromstärken im Anker und in den Magneten gleichzeitig; dadurch werden die Änderungen in den Umdrehungen und Zugkräften große Schwankungen erleiden. Der Motor wird demnach auch sehr rasch und kräftig anlaufen, die elektromotorische Gegenkraft rasch anwachsen, bis sich die normalen Stromverhältnisse mit der normalen Belastung einstellen. Große Änderungen in der Belastung bewirken große Änderungen in den Umdrehungszahlen. Der Nebenschlussmotor hat ein beständiges magnetisches Feld (die Anzahl der Ampèrewindungen in den

Magneten bleibt unverändert). Die Zugkraft dieses Motors ist demnach der Stromstärke sehr nahe proportional. Die Änderungen in den Umdrehungszahlen werden langsamer erfolgen, als beim Serienmotor; Änderungen in der Belastung ändern in geringem Maße die Umdrehungszahlen.

Die verschieden geschalteten Motoren verhalten sich demnach folgendermaßen:

1. Der Serienmotor lauft sehr schnell an, ändert aber schon bei geringen Belastungsschwankungen seine Umdrehungen.

2. Der Nebenschlussmotor lauft langsamer an und behält nahezu beständige Umdrehungen.

3. Der Compoundmotor vereint, da die Magnete beiderlei Wickelungen besitzen, die Eigenschaften beider Motoren.

Die Wahl der Schaltung wird stets den praktischen Bedürfnissen angepasst.

Zur Verhütung zu starker Ströme beim Anlaufen und zur Regulierung der Umdrehungszahlen in den weitesten Grenzen dienen Widerstände im Stromkreise zwischen Dynamo und Motor. Da diese Widerstände Strom konsumieren, sollen sie nur zu obigen Zwecken und für kurze Zeit Verwendung finden; bei normaler Belastung sind dieselben stets kurzzuschließen.

209. Bemerkungen. Die Berechnung der Strom-, Widerstands- und Güteverhältnisse sind aus dem Früheren (§ 179 ff.) zu entnehmen. Daten über verschiedene Nebenrechnungen geben die Versuchsmaschinen.

VIII. Kapitel.

Berechnung der Magnetwickelung dynamoelektrischer Maschinen und Motoren.

210. Der magnetische Stromkreis. Rowland[1]) hat das Ohm'sche Gesetz auf den magnetischen Stromkreis angewendet. Er führte in das Ohm'sche Gesetz anstatt der Stromstärke die Gesammtzahl der Kraftlinien N, anstatt der Spannung die magnetisierende Kraft (Anzahl der Amperewindungen) M und anstatt des Widerstandes den magnetischen Widerstand R ein und erhielt so die Gleichung.

$$N = \frac{M}{R}.$$

[1]) Rowland, Phil. Mag., X, August 1873.

Bosanquet[1]) bezeichnet M als „magnetomotorische Kraft“ und R als „magnetischer Widerstand.“

Die Formel zur Berechnung der Kraftlinien in einem Elektromagnete von Rowland stammt aus dem Jahre 1884.

Bezeichnungen:

N = Gesammtzahl der Kraftlinien,
m = Anzahl der magnetisierenden Windungen,
i = Strom in Ampère,
L = Abstand der Pole im Eisen,
Q = Querschnitt der Magnete,
μ = Magnetische Durchlässigkeit,
$L_3 = 2\delta$ = Doppelter Abstand des Ankereisens von den Polen,
Q_3 = Querschnitt der Luft zwischen dem Ankereisen und den Polschuhen,
Q_4 = Größe, abhängig von der Streuung der Kraftlinien in der Luft zwischen den Polschuhen und dem Ankereisen.

Mit Benützung dieser Bezeichnungen fand Rowland die Formel

$$N = \frac{\frac{4\pi}{10}\, i\, m}{\frac{L}{\mu Q} + \frac{L_3}{Q_3 + Q_4}}.$$

Gisbert Kapp[2]) führte folgende Größen ein:

R_1 = Widerstand, welcher den Kraftlinien in den Magneten entgegenwirkt,
R_2 = Widerstand, welcher sich den Kraftlinien im Anker entgegenstellt,
R_3 = Doppelter Widerstand, welcher den Kraftlinien in der Luftschichte zwischen dem Anker und den Magneten entgegenwirkt,
C = Konstante, stellte die Gleichung

$$Z = \frac{c.i.m}{R_1 + R_2 + R_3}$$

auf und wendete auf die Widerstände R_1, R_2 und R_3 das Ohm'sche Gesetz,

$$R_1 = \frac{\alpha . L_1}{Q_1}; \quad R_2 = \frac{\beta . L_2}{Q_2}; \quad R_3 = \frac{\gamma\, 2\, \delta}{Q_3} \text{ an,}$$

[1]) Bosanquet, Phil. Mag., Juni 1884, Seite 532; Electrician, Feber 1885.
[2]) Electrician, Feber 1886 und Mai 1887.

worin

L_1 = Länge der Kraftlinien in den Magneten in *cm*,
L_2 = Länge der Kraftlinien im Anker in *cm*,
δ = Abstand zwischen dem Eisenkerne des Ankers und den Polschuhen in *cm*,
Q_1 = Querschnitt der Magnete in cm^2,
Q_2 = Gesammtquerschnitt des Ankereisens in cm^2,
Q_3 = Querschnitt der Luft zwischen dem Anker und den Polschuhen im cm^2 und
α, β und γ Konstante, welche von dem angewendeten Material und von der Anordnung der Magnete abhängig sind.

211. Theorie nach J. und E. Hopkinson.

J. und E. Hopkinson[1]) geben folgende ähnliche Formel für den magnetischen Kreislauf an:

$$P = p_1 + p_2 + p \quad \ldots\ldots \text{I. oder}$$

$$\frac{4\pi}{10} . i . m = L_1\, B_1\, a_1 + L_2\, B_2\, a_2 + L_3\, B_3\, a_3 \quad \ldots\ldots \text{II.},$$

worin

$$B_1 = \frac{N}{Q_1},\ B_2 = \frac{N}{Q_2},\ B_3 = \frac{N}{Q_3}.$$

a_1, a_2 und a_3 bezeichnen Widerstandskoëfficienten, gleich den reciproken Werten der magnetischen Durchlässigkeit μ für die verschiedenen Materiale.

$$\mu = \frac{B}{\left(\frac{4\pi}{10} . i . m\right)},$$

wenn

B = Magnetische Intensität (Anzahl der Kraftlinien für 1 cm^2) und
$\left(\frac{4\pi}{10} . i . m\right)$ = Magnetisierende Kraft = Anzahl der Ampèrewindungen, welche die Intensität B für 1 *cm* Länge erzeugen.

Die magnetische Durchlässigkeit μ ist für Luft = 1, für alle magnetisierbaren Körper größer als 1 und nimmt rascher ab, als die Sättigung zunimmt. J. und E. Hopkinson haben zusammengehörige Werte von verschiedenen B und magnetisierenden Kräften $\frac{4\pi}{10} . m i$ versuchs-

---

[1]) J. und E. Hopkinson, Phil. Transactions I., 1886, Seite 331; Electrician, Nov. und Dec. 1886; Centralblatt für Elektrotechnik, X, 1887, Seiten 3, 63, 98, 141, 211 und 235; Elektrotechnische Zeitschrift, VIII, 1887, Seite 361.

weise für Schmiede- und Gusseisen bestimmt und die zusammengehörigen Werte von $\frac{4\pi}{10} m\, i$ (als Abscissen) und B (als Ordinaten) in ein Koordinatensystem eingetragen. Da μ beziehungsweise $\frac{4\pi}{10} . m i$ und B für verschiedene Eisenorten verschieden ist, muss dasselbe für jede bestimmte Eisenorte ermittelt werden. Für das Schmiedeeisen einer später zu berechnenden Dynamo erhielten J. und E. Hopkinson auf diesem Wege die in Fig. 234 wiedergegebene Kurve.

Während Kapp in seinen grundlegenden Formeln den vollständigen magnetischen Stromkreis berechnet, zerlegen denselben J. und E. Hopkinson, der Gleichung II entsprechend, in 3 Theile.

$\frac{4\pi}{10} . i m$ = Zahl der Ampèrewindungen, welche die Intensität B für die Länge des vollständigen magnetischen Stromkreises erzeugen.

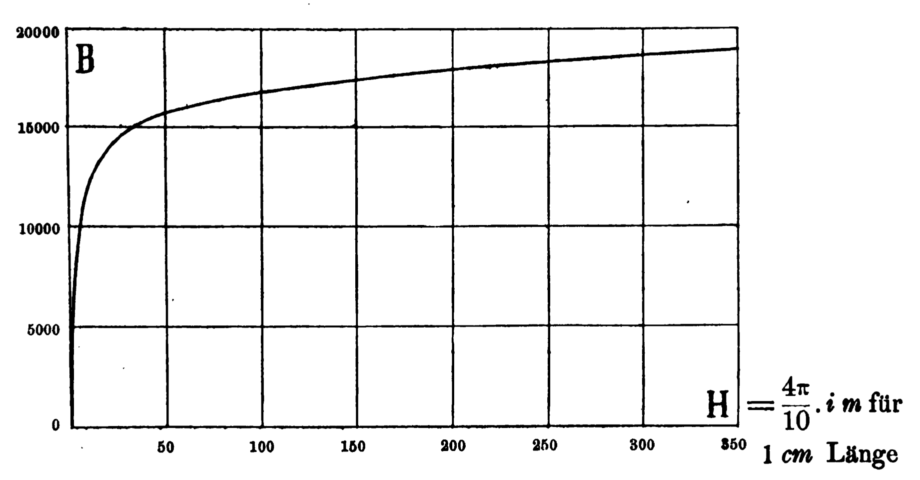


Fig. 234. Zusammenhang zwischen magnetischer Intensität und magnetisierender Kraft.

J. und E. Hopkinson zerlegen nun diesen Stromkreis in 3 Theile:

1. Theil = $L_1\ B_1\ \alpha_1$ = Zahl der Ampèrewindungen, welche die Intensität B_1 für L_1 *cm* Länge des magnetischen Stromkreises in den Magneten hervorbringen.

2. Theil = $L_2\ B_2\ \alpha_2$ = Zahl der Ampèrewindungen, welche die Intensität B_2 für L_2 *cm* Länge des magnetischen Stromkreises im Anker erzeugen.

3. Theil $= L_3 \, B_3 \, \alpha_3 =$ Zahl der Kraftlinien, welche die Intensität B_3 für L_3 *cm* Länge des megnetischen Stromkreises in den Luftzwischenräumen zwischen dem Anker und den Polschuhen erhalten.

Eine weitere Trennung des Weges der Kraftlinien in den Magneten nach J. u. E. Hopkinson in 3 Theile (Magnetkerne, Polschuh und Joch) ist in der Formel I nicht berücksichtigt. Mit Berücksichtigung dieser Theilung lautet die Formel I:

$$\frac{4\pi}{10} mi = \underbrace{L_{1a} B_{1a} \alpha_{1a} + L_{1b} B_{1b} \alpha_{1b} + L_{1c} B_{1c} \alpha_{1c}}_{\text{Magnete}} + \underbrace{L_2 \, B_2 \, \alpha_2}_{\text{Anker}} + \underbrace{L_3 \, B_3 \, \alpha_3}_{\text{Luft}} \ldots \text{III.},$$

worin $L_{1a} + L_{1b} + L_{1c} = L_1$.

Die Formel I gibt die gesammte magnetomotorische Kraft $\frac{4\pi}{10} mi$ ohne Rücksicht auf die Streuung der Kraftlinien an die Luft (bis 50% der in den Magneten erzeugten Kraftlinien werden bei den verschiedenen Konstruktionen der Dynamo an die Luft verstreut). Bringt man ein Stück Eisen mit dem Magnetkörper in Berührung, so wird es dort am stärksten angezogen, wo die größte Streuung herrscht. Die verschiedenen Querschnitte des magnetischen Stromkreises weisen verschiedene Streuung auf. In den Maschinen Fig. 232, 235, 236 und 237 ist die Streuung der Magnete, vom Anker aus gesehen, für die Querschnitte unmittelbar hinter den Magnetspulen, bei der Maschine Fig. 233 in der Mitte der Magnetspulen am kleinsten (die Anzahl der Kraftlinien am größten).

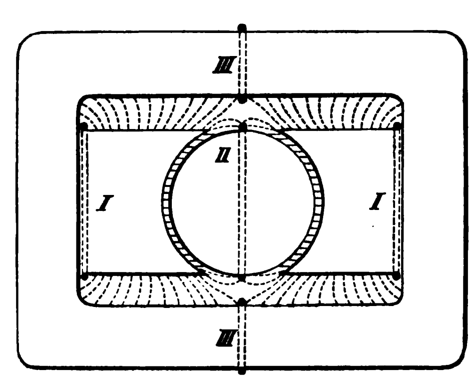


Fig. 235.
Bestimmung des Streuungskoëfficienten.

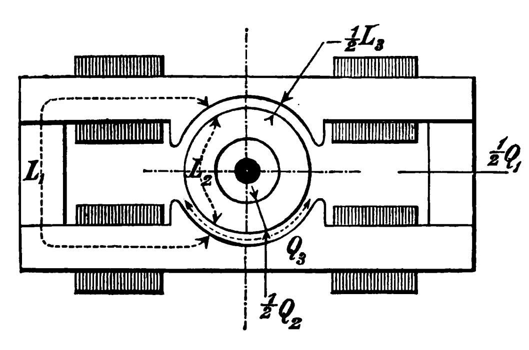


Fig. 236.
Maßgebende Querschnitte und Kraftlinienlängen.

Sind in dem Anker, Fig. 235, N Kraftlinien erforderlich, so beträgt die Anzahl der Kraftlinien N_1 für die Querschnitte II je

$$N_1 = c_1 \, N \text{ Kraftlinien,}$$

worin c_1 = Streuungskoëfficient.

Der Streuungskoëfficient ist der Größe der Leistung verkehrt proportional. Er hat nach Wiener bei 0·1 Kilowatt Leistung rund den Wert 2, bei 300 Kilowatt rund den Wert 1·20.

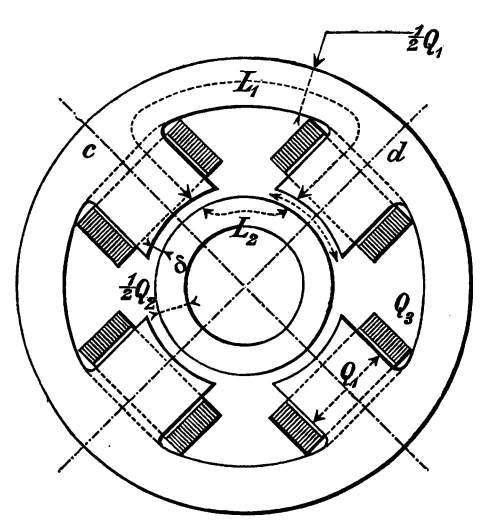


Fig. 237.
Weglängen der Kraftlinien und Querschnitte.

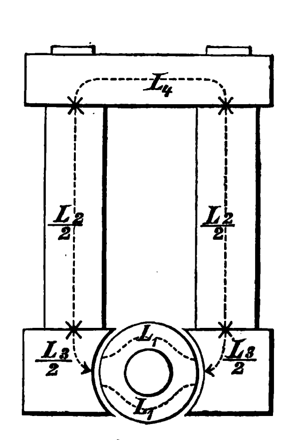


Fig. 238.
Weglängen der Kraftlinien.

Den Streuungskoëfficienten bestimmt man am besten durch Versuche, indem man an der Stelle, an welcher derselbe zu ermitteln ist, in eine Windung ein Galvanometer einschaltet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Windungen bei *III III*, Fig. 235, hintereinanderzuschalten sind. Unterbricht man nun den Magnetstrom plötzlich, so erhält man einen Ausschlag am Galvanometer, welcher der von der Versuchswindung eingeschlossenen Kraftlinienzahl proportional ist. Die den zugehörigen Windungen *I*, *II* und *III III* entsprechenden Galvanometerausschläge seien: I^1, II^1 und III^1 III^1. Die besten Werte geben die Mittel zweier Ablesungen am Galvanometer mit verschiedenen Stromrichtungen.

Dann ist $c_1 = \dfrac{I^1}{II^1}$ für den Querschnitt I und

$c_2 = \dfrac{III^1\,III^1}{II^1}$ „ „ „ III, bezogen

auf den Querschnitt *II*. Fallen c_1 oder c_2 kleiner als 1 aus, dann können die betreffenden Querschnitte verkleinert werden. Der Streuungskoëfficient wird sich von Querschnitt zu Querschnitt ändern. Die Rechnung liefert jedoch schon befriedigende Werte, wenn man den Stromkreis in 3 Theile (Magnete, Anker und Luft) zerlegt und für diese Theile den Streuungskoëfficienten als unveränderlich annimmt. Fig. 235 zeigt die durch Streuung verloren gehenden Kraftlinien. Unter Zugrundelegung dieser Streuungskoëfficienten nimmt die Gleichung II die Form an:

$$\frac{4\pi}{10} . m\, i = \underbrace{L_1\, \varphi_1\, (c_1\, B_1)}_{\text{Magnete}} + \underbrace{L_2\, \varphi_2\, (B_2)}_{\text{Anker}} + \underbrace{L_3\, B_3}_{\text{Luft}} \ldots \text{IV.},$$

worin $B_1 = \frac{N}{Q_1}$; $B_2 = \frac{N}{Q_2}$ u. $B_3 = \frac{N}{Q_3}$.

Die Zeichen φ_1 und φ_2 haben die Bedeutung, dass B_1 und B_2 mit der Sättigung nicht proportional wachsen. Das Glied $L_3\, B_3$ enthält kein Zeichen φ, weil in der Luft für alle Sättigungsgrade dieselbe magnetomotorische Kraft erforderlich ist, um N Kraftlinien auf der Wegstrecke L_3 durch den Querschnitt Q zu treiben.

Für das gleiche Eisen ist $\varphi_1 = \varphi_2$.

Im Folgenden soll diese Theorie, welche in der Praxis neben den Theorien von Gisbert Kapp, Waldemar Fritsche,[1]) Max Corsepius[2]), Karl Zickler[3]) u. A. zumeist Verwendung findet, an Beispielen erläutert werden.

1. Beispiel: J. u. E. Hopkinson hat die Charakteristik einer Nebenschlussmaschine, Fig. 238, zur Erklärung ihrer Theorie berechnet. Die Maschine steht, unter Zwischenlegung einer Zinkplatte, mit ihren Polschuhen auf einer gusseisernen Grundplatte. Magneteisenkern, Polschuhe und Joch bestehen aus Schmiedeeisen. Das Joch ist mit den Magneteisenkernen verschraubt. Für diese Maschine gelten die folgenden Daten:

320 Ampère normale Stromstärke,
105 Volt normale Spannung,
750 Umdrehungen in der Minute,
2 Lagen,
40 Abtheilungen,

---

[1]) Waldemar Fritsche, Die Gleichstrom-Dynamo, 1889.

[2]) Dr. Max Corsepius, Theoretische und praktische Untersuchungen zur Konstruktion magnetischer Maschinen und Leitfaden zur Konstruktion von Dynamomaschinen, 1891.

[3]) Karl Zickler, Über die Vorausberechnung der Dynamomaschine. Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien, Bd. 6, 1888, S. 5 bis 11 u. S. 53 bis 65.

16 Windungen in jeder Abtheilung,
0·01 Ohm Widerstand des Ankers bei 15° C.,
11 Lagen für jeden Schenkel,
2·41 *mm* Durchmesser des Magnetdrahtes,
3260 Gesammtzahl der Magnetwindungen,
4570 *m* Gesammtlänge der Magnetwindungen,
17 Ohm Widerstand der Magnetwickelung bei 15° C.,
45·7 *cm* Länge des Magnetschenkels,
22·1 „ Dicke „ „
44·5 „ Breite „ „
61·6 „ Länge des Joches,
48·3 „ Breite „ „
23·2 „ Dicke „ „
38·1 „ Abstand zwischen den Achsen beider Schenkel,
27·5 „ Bohrung für den Anker.
25·4 *cm* Höhe der Polstücke,
48·3 „ Tiefe „ „ (parallel zur Achse genommen),
12·7 „ Dicke der Zinkplatte,
12·7 „ Breite des kleinsten Zwischenraumes zwischen den Polstücken,
50·8 „ Durchmesser des Ankereisens,
7·0 „ Durchmesser der Welle.

Die Gleichung IV.

$$\frac{4\pi}{10} . m\, i = \underset{\text{Magnete}}{L_1 \varphi_1 (c_1 B_1)} + \underset{\text{Anker}}{L_2 \varphi_2 (c_2 B_2)} + \underset{\text{Luft}}{L_3 B_3}$$ geht mit Rücksicht auf

die Gleichung III (wenn man L_1 in 3 Theile zerlegt) in die Gleichung

$$\frac{4\pi}{10} . mi = \underbrace{L_{1a} \varphi\, (c B_{1a}) + L_{1b}\, \varphi (c B_{1b}) + L_{1c}\, \varphi (c B_{1c})}_{\text{Magnete}} + \underbrace{L_2\, \varphi (B_2)}_{\text{Anker}} + \underbrace{L_3\, B_3}_{\text{Luft}} \ldots \text{V.}$$

über. Wenn man für $B_{1a} = \frac{N}{Q_{1a}}$, $B_{1b} = \frac{N}{Q_{1b}}$, $B_{1c} = \frac{N}{Q_{1c}}$, $B_2 = \frac{N}{Q_2}$ u. $B_3 = \frac{N}{Q_3}$ einführt, dann ergibt sich die Anzahl der Ampèrewindungen aus der Gleichung

$$\frac{4\pi}{10} \cdot mi = \underset{\text{Magnetkerne}}{L_{1a} \varphi_{1a} \left(c \frac{N}{Q_{1a}}\right)} + \underset{\text{Polschuh}}{L_{1b}\, \varphi \left(c \frac{N}{Q_{1b}}\right)} + \underset{\text{Joch}}{L_{1c}\, \varphi \left(c \frac{N}{Q_{1c}}\right)} +$$

$$+ \underset{\text{Anker}}{L_2\, \varphi \left(\frac{N}{Q_2}\right)} + \underset{\text{Luft}}{L_3 \frac{N}{Q_3}} \ldots \text{VI.,}$$

worin L_{1a} = Weglänge der Kraftlinien in den Magnetkernen in *cm*,
L_{1b} = „ „ „ „ „ Polschuhen „ „
L_{1c} = „ „ „ „ dem Joch „ „
N = Anzahl der Kraftlinien im Anker in *CGS*,
Q_{1a} = Querschnitt der Magnetkerne in cm^2,
Q_{1b} = „ „ Polschuhe „ „
Q_{1c} = „ des Joches „ „
L_2 = Weglänge der Kraftlinien im Anker in *cm*,
Q_2 = Querschnitt des Ankereisens in cm^2,
L_3 = Weglänge der Kraftlinien in der Luft in *cm*,
Q_3 = Querschnitt der Luft zwischen Ankereisen u. Polschuh in cm^2,
c = Streuungskoëfficient.

Der Streuungskoëfficient c ergab bei einer Stromstärke $i = 5{\cdot}6$ Ampère den Wert 1·32.

Bestimmung der Querschnitte.

1. Magnet. $L_{1a} = 2 \,.\, 45{\cdot}7 = 91{\cdot}4$ *cm*.
$Q_{1a} = 22{\cdot}1 \,.\, 44{\cdot}5 = 983{\cdot}45$ cm^2.

2. Polschuh. $L_{1b} = 2 \,.\, 11 = 22$ *cm*.

1500 cm^2 = Fläche, mit welcher ein Polschuh dem Anker gegenübersteht.

930 cm^2 = Querschnitt der Schenkel.

$$Q_{1b} = \frac{1500 + 983}{2} = 1241{\cdot}5 \; cm^2.$$

3. Joch. $L_{1c} = 49$ *cm*.
$Q_{1c} = 1120$ cm^2.

4. Anker. $L_2 = 13$ *cm*.

$$Q_2 = (50{\cdot}8 - 3{\cdot}9)\;(24{\cdot}5 - 7{\cdot}6) = 46{\cdot}9 \,.\, 16{\cdot}9 = 790 \; cm^2$$

und mit Rücksicht auf die Stahlwelle:

$$Q_2 = 810 \; cm^2.$$

5. Luft. $L_3 = 27{\cdot}5 - 24{\cdot}5 = 3$ *cm*.

Der Polschuh umfasst einen Bogen von rund 129°. Der Durchmesser der Bohrung beträgt 27·5 *cm*. Demnach ist der von einem Polschuh umfasste Bogen $\lambda = 86{\cdot}39 \,.\, \frac{129}{360} = 31$ *cm*.

Der Polschuh misst in der Richtung der Welle 48·3 *cm*; daraus folgt: $Q_3 = 31 \,.\, 48{\cdot}3 = 1500$ cm^2
und mit Berücksichtigung der von den Seiten der Polschuhe in den Anker eintretenden Kraftlinien: $Q_3 = 1600$ cm^2.

Konstruktion der Magnetisierungskurven.

1. Konstruktion der Magnetisierungskurve im Luftraume. Die einer bestimmten Intensität B (Anzahl der Kraftlinien für

1 cm^2) entsprechenden Werte der magnetomorischen Kraft $\left(\frac{4\,\pi}{10} m\, i\right)$ für 1 cm Kraftlinienlänge ergeben sich aus der oben angeführten Magnetisierungskurve, Fig. 234.

Die magnetomotorische Kraft, welche erforderlich ist, um N Kraftlinien auf der Strecke L_3 durch den Querschnitt Q_3 zu treiben

$$p = L_3 \cdot \frac{N}{Q_3} \text{ (Gleichung VI.) oder } N = \frac{Q_3}{L_3} \cdot p.$$

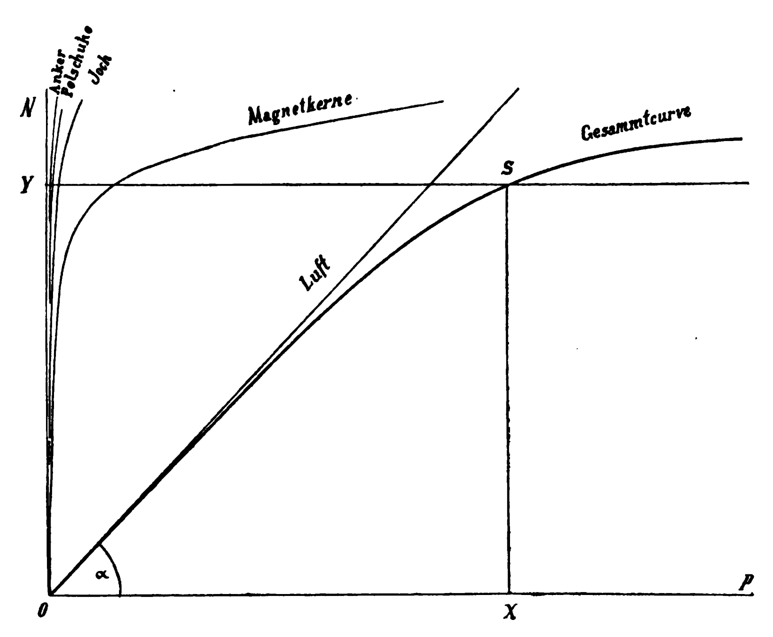


Fig. 239. **Magnetisierungskurven.**

Das ist die Gleichung einer Geraden von der Form $y = a\,x$, d. h. sie geht durch den Ursprung des Koordinatensystems. Es muss demnach $a = \frac{Q_3}{L_3} = tg\, \alpha$, wenn α = der Tangente des Neigungswinkels der Geraden gegen die Abscissenachse. Der Maßstab ist, um die Tangente graphisch wiedergeben zu können, für p 500mal so groß, als für N gewählt, daher ist

$$tg\, \alpha = \frac{1}{500} \cdot \frac{1600}{3} = 1{\cdot}06 \text{ und } \alpha = 46{\cdot}9.$$

Daraus ergibt sich als Charakteristik in der Luft die in Fig. 239 mit „Luft“ bezeichnete Gerade.

Für eine bestimmte elektromotorische Kraft E ist eine bestimmte Anzahl Kraftlinien im Anker erforderlich. Sei diese Anzahl der Kraftlinien z. B. $= 5 \cdot 10^6$ so kommen, da der Querschnitt des Luftraumes 1600 cm^2 beträgt, auf ein cm^2 $\frac{5 \cdot 10^6}{1600} = 3125$ Kraftlinien, wofür sich aus der Kurve von J. u. E. Hopkinson (Fig. 234) $H_3 = 3$ ergibt; damit wird

$$p = 3 \cdot 3125 = 9375.$$

2. Konstruktion der übrigen Magnetisierungskurven.

Für den Anker kann man die den verschiedenen Induktionen B_2 entsprechenden magnetisierenden Kräfte $H_2 = \frac{p_1}{L_2}$ aus der Kurve, Fig. 234, ablesen. Ist z. B. $B_2 = \frac{10 \cdot 10^6}{810} = 12350$, so ergibt sich aus dieser Figur

$$H = 9{\cdot}5 \text{ daher } p_1 = 13 \cdot 9{\cdot}5 = 123{\cdot}5 \text{ und}$$
$$500\ p_1 = 61750 = 0{\cdot}062 \cdot 10^6.$$

Wählt man den Maßstab $10^6 = 1$ cm und errichtet in Fig. 239 auf die Abscissenachse im Abstande von 0·062 cm vom Ursprung O eine Senkrechte, so wird dieselbe von der zur X-Achse parallelen Geraden YS, welche durch den Punkt Y, dessen Ordinate $OY = 10 \cdot 10^6$ ist, in einem Punkte jener Kurve geschnitten, welche den Zusammenhang der Kraftlinienzahl N mit der magnetomotorischen Kraft p_1 veranschaulicht.

Ebenso kann man dieses Verfahren auf die anderen Theile des magnetischen Stromkreises anwenden; dann ergeben sich die in Fig. 239 wiedergegebenen Kurven.

Die Summe sämmtlicher in einem Punkte der Ordinatenachse z. B. in Y, Fig. 240, zusammentreffender Abscissen sind $= OX$, d. h.

$$\overline{OX} = \overline{O_{x1}} + \overline{O_{x2}} + \overline{O_{x3}} + \ldots\ldots$$

Die Ordinate OY und die Abscisse OX geben den Punkt S der resultierenden Kurve, welche zusammengehörige Werte von gesammter magnetomotorischer Kraft $P = \overline{OX}$ und Kraftlinienzahlen N abzulesen gestattet.

Z. B. bestimmen wir in folgender Art die erregende Kraft in Ampèrewindungen im, wenn (nach Früherem) die Spannung an den Klemmen der Maschine = 105 Volt und die Stromstärke im äußeren Stromkreise 320 Ampère betragen. Spannungsverlust im Anker = 4 Volt.

$$N = \frac{10^8 \cdot 109}{12{\cdot}5 \cdot 80} = 10{\cdot}9 \cdot 10^6\ C\ G\ S.$$

Aus der Kurve, Fig. 239, lesen wir für $N = 10{\cdot}9 . 10^6$ als Abscisse den Wert $12{\cdot}4 . 10^6$ Einheiten der Ordinatentheilung ab.

Da nun diese Theilung 500mal so groß gewählt wurde, als die Ordinatentheilung, ist

$$OX = P = \frac{4\pi}{10} . mi = \frac{12{\cdot}4 . 10^6}{500} = 24800, \text{ daher}$$

$$mi = \frac{24800 . 10}{4\pi} = 19700 \text{ Ampère-Windungen.}$$

Die gesammte Windungszahl beträgt 3260, daher ergibt sich der Magnetstrom

$$i = \frac{19700}{3260} = 6 \text{ Ampère.}$$

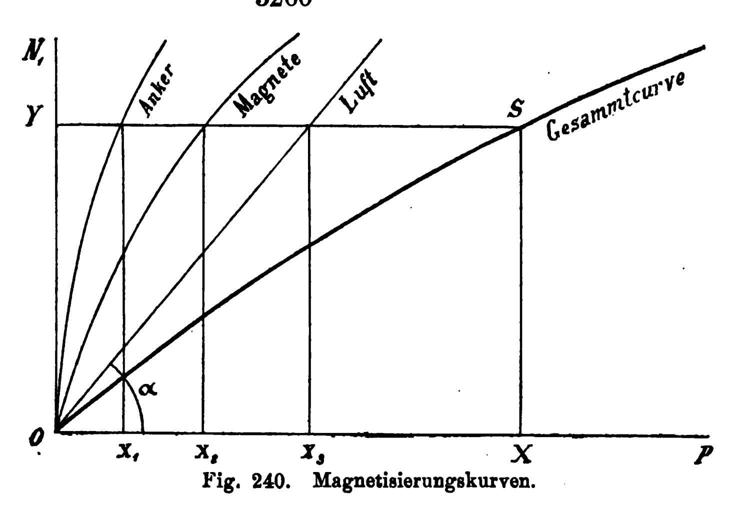


Fig. 240. Magnetisierungskurven.

Die magnetomotorische Kraft 24800 vermag $10{\cdot}9 . 10^6$ Kraftlinien durch den Kreislauf des magnetischen Stromkreises zu befördern.

In unserem Beispiele sind davon verwertet:

Um N Kraftlinien durch:

den Anker zu treiben $p_1 = \frac{90000}{500} = 180$,

den Luftraum „ „ $p = \frac{10{\cdot}4 . 10^6}{500} = 20800$,

die Schenkel „ „ $p_2 = \frac{1{\cdot}735 . 10^6}{500} = 3470$,

die Polschuhe „ „ $p_3 = \frac{90000}{500} = 180$,

das Joch „ „ $p_4 = \frac{285000}{500} = 570$,

so dass $P = p + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = \frac{12{\cdot}4 . 10^6}{500} = 24800$.

2. Beispiel. Wie groß ist die Anzahl der für die Versuchsmaschine zu 13200 Watt bei 110 Volt erforderlichen Ampèrewindungen auf den Magneten? Die Angaben sind aus der in § 189 wiedergegebenen Tabelle über die Versuchsmaschinen zu entnehmen.

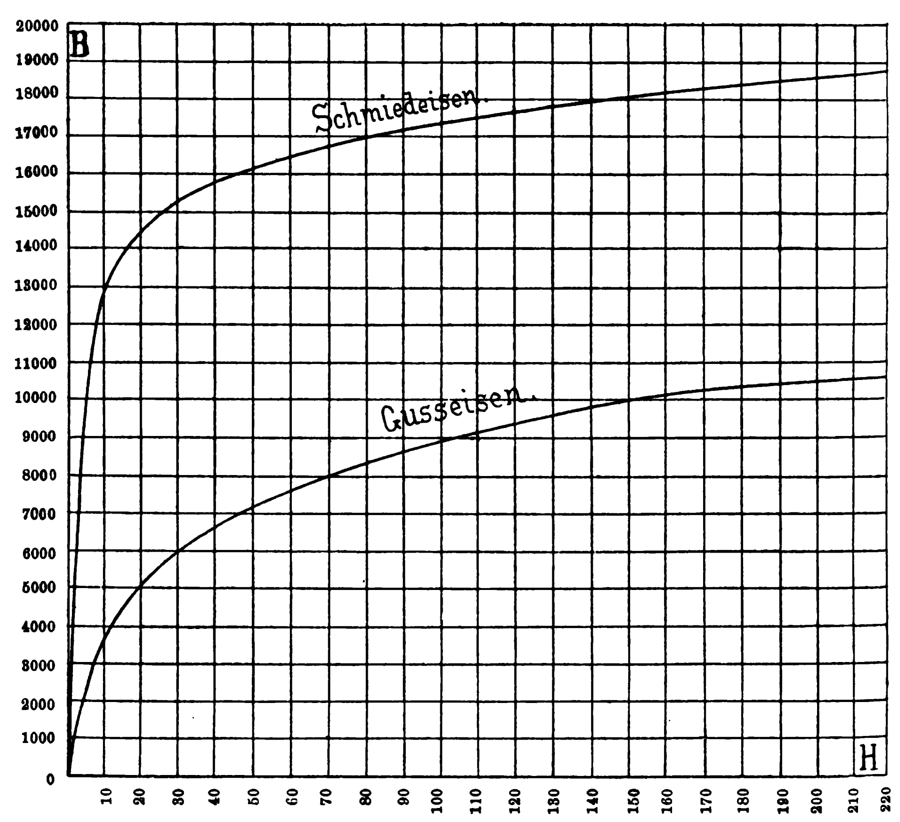


Fig. 241. Zusammenhang zwischen magnetischer Intensität und magnetisierender Kraft.

Für diese Maschinen, Type Fig. 232, erhielt ich bei Schmiede- und Gusseisen die in Fig. 241 eingezeichneten Kurven, als höchsten Wert des Streuungskoefficienten die Zahl 1·5.

Anzahl der Kraftlinien im Anker:

$$N = \frac{10^8 \,.\, 113{\cdot}783}{14{\cdot}17 \,.\, 200} = 4014936.$$

Konstruktion der Magnetisierungsgeraden im Luftzwischenraume:

$$L_8 = 42{\cdot}4 - 40 = 2{\cdot}4 \; cm.$$

Der von einem Polschuh umfasste Bogen $\lambda = 52 \cdot 9$ *cm*.

$$Q_3 = 52 \cdot 9 \times 28 = 1481 \, cm^2.$$

Bei der **Edison-Hopkinson-Type** (1. Beispiel) war dieser Querschnitt mit Bezug auf die von der Seite des Polschuhes in den Anker eintretenden Kraftlinien zu vergrößern. Bei der Versuchsmaschine sind die Polschuhe abgerundet, so dass $Q_3 < 1481 \, cm^2$. Dieser Umstand ist jedoch bei diesen Maschinen nicht zu berücksichtigen, weil dagegen annähernd mehr Kraftlinien von den Seiten einzusetzen wären. Bei der im 1. Beispiele gewählten Type deckt die Polfläche die gegenüberliegende Ankeroberfläche vollständig, bei den Versuchsmaschinen jedoch, des Abrundens der Polschuhe halber, nicht ganz vollständig.

Die Gleichung der Magnetisierungsgeraden lautet (sowie im 1. Beispiele):

$$p = L_3 \cdot \frac{N}{Q_3}, \text{ Maßstab } 500 \, p = 1 \, N,$$

$$tg \, \alpha = \frac{1}{500} \cdot \frac{1481}{2 \cdot 4} = 1 \cdot 234, \; \alpha = 51^0, \text{ d. h.:}$$

Die Gerade $p = L_3 \cdot \frac{N}{Q_3}$ bildet mit der Abscissenachse einen Winkel von 51^0.

$$p = \frac{4014936 \; . \; 2 \cdot 4}{1481} = 6504.$$

Konstruktion der Magnetisierungskurve für den Ankerkern:

$$L_2 = 49 \cdot 5 \, cm.$$

$$Q_2 = 28 \, . \, \frac{4}{5} \, . \, 17 = 442 \, cm^2.$$

$$B_2 = \frac{N}{Q_2} = \frac{4014936}{442} = 9084.$$

Für $B_2 = 9084$ folgt aus der Magnetisierungskurve für Schmiedeeisen, Fig. 241, der Wert $H_2 = 5$. Daher $p_2 = 49 \cdot 5 \, . \, 5 \sim 248$.

Konstruktion der Magnetisierungskurve für die Magnete:

$$L_1 = 173 \, cm; \; Q_1 = 616 \, cm^2,$$

$$B_1 = \frac{N}{Q_1} = \frac{4014936}{616} = 6518 \text{ und}$$

$$cB_1 = 6518 \, . \, 1 \cdot 5 = 9777.$$

Für die Intensität 9777 ergibt die Magnetisierungskurve für Gusseisen, Fig. 241, den Wert $H_1 = 140$.

$$p_1 = 173 \, . \, 140 = 24220.$$

Die gesammte magnetomotorische Kraft

$$P = p + p_2 + p_1,$$
$$p = 6504,$$
$$p_2 = 248,$$
$$p_1 = 24220,$$
$$P = 30972 = \frac{4\,\pi\,m\,i}{10},$$
$$m\,i = 24659 \text{ Ampèrewindungen.}$$

Berechnung von Elektromotoren. Bei der Berechnung von Elektromotoren hat man in der Grundgleichung

$$E = \frac{n\,.\,C\,.\,N}{10^8} \text{ Volt oder}$$

$$N = \frac{10^8\,.\,E}{n\,.\,C}$$ den Spannungsverlust im Anker von E zu subtrahieren.

IX. Kapitel.

Wechselströme.

212. Gleichstrom-Wechselstrom. Aus dem I. Buch, Fig. 99 ist es ersichtlich, dass der in geschlossenen Drahtwindungen, I. Buch, Fig. 98, erzeugte Strom seine Richtung wechselt, somit Wechselstrom sein muss.

In jedem Induktor wird Wechselstrom erzeugt.

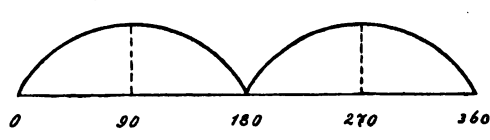


Fig. 242. Gleichstrom bei 2 Kollektor-Lamellen.

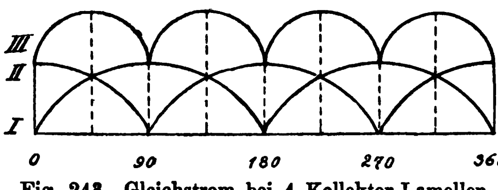


Fig. 243. Gleichstrom bei 4 Kollektor-Lamellen.

Bringt man jedoch einen Kollektor in Anwendung, so werden die elektromotorischen Kräfte, I. Buch, Fig. 99, durch denselben gleichgerichtet. Der Verlauf eines Gleichstromes ist demnach durch die in Fig. 242, wiedergegebene krumme Linie veranschaulicht. Dieses Bild entspricht 2 Kollektorlamellen.

Besteht der Kollektor aus 2 Lamellen, so gibt es 2 Punkte, 0° und 180°, in welchen die elektromotorische Kraft gleich Null ist und 2 Punkte, 90° und 270°, in welchen die elektromotorische Kraft einen größten Wert (ein Maximum) erreicht.

Sind 4 Kollektorlamellen vorhanden, so ergibt sich, Fig. 243, für das erste Lamellenpaar die Kurve I, für das 2. Lamellenpaar die Kurve II und durch das Summieren der Werte der elektromotorischen Kräfte der beiden Lamellenpaare die Kurve III. Die resultierende Kurve III hat 4 mal den Wert Null und 4 mal einen größten Wert; die einzelnen Schwankungen werden deshalb geringer sein, als wenn nur ein Lamellenpaar vorhanden wäre. Es folgt daraus die Regel:

Je größer die Anzahl der Kollektorlamellen ist, desto geringer sind die Änderungen in der elektromotorischen Kraft und in der durch sie hervorgerufenen Stromstärke.

Die Anzahl der Kollektorlamellen wird dadurch eingeschränkt, dass die Kosten des Kollektors mit der Anzahl derselben steigen.

213. Bestimmung der inducierten elektromotorischen Kraft, beziehungsweise der wahren Stromstärke in irgend einer bestimmten Phase der Bewegung nach Joubert.

Die Versuchsmaschine war eine Wechselstrommaschine nach Siemens & Halske, deren Induktorspulen kein Eisen enthielten.

Fig. 244 gibt die Versuchsanordnung wieder.

Auf der Welle einer Wechselstrommaschine sind die Kupferscheibe S_1 und eine Scheibe S_2 aus einem Nichtleiter mit einem Metallkontakte aufgekeilt. In der Fig. 244 stellt der lichte Streifen auf der schwarzen Scheibe S_2 den Metallkontakt dar. Auf den Scheiben schleifen die Bürsten b_1 und b_2. Die Bürste b_2 ist mit der einen Klemme K_1 der Wechselstrommaschine verbunden. An die verstellbare Bürste b_1 war unter Zwischenschaltung eines Galvanometers G die Klemme K_2 der Wechselstrommaschine angeschlossen. Da die Bürste b_1 verstellbar ist, kann das Instrument G die Spannung in ganz bestimmten Lagen der Induktorspulen gegen das magnetische Feld (in bestimmten Phasen der Bewegung) messen. Während jeder Umdrehung in einer bestimmten Stellung der Bürste b_1, erhält das Galvanometer G Strom von derselben Phase. Erfolgen die Umdrehungen sehr rasch aufeinander, dann gibt das Galvanometer G eine beständige Ablenkung, entsprechend der elektromotorischen Kraft an dieser Stelle. Verschiebt man die Bürste b_1

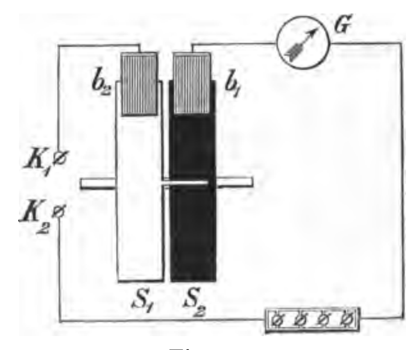


Fig. 244.
Ermittelung der Sinuslinie nach Joubert.

auf dem ganzen Umfange der Scheibe S_2 und liest die einzelnen Ablenkungen am Galvanometer G ab, so stellen dieselben die elektromotorischen Kräfte in den verschiedenen Phasen der Bewegung dar. Zu beachten ist, dass die Kontaktstelle von Übergangswiderständen frei sein muss. Gute Dienste leistet die Einschaltung eines Kondensators, welcher durch das Galvanometer G entladen wird. Schaltet man den Joubert'schen Apparat und einen induktionsfreien Normalwiderstand, in welchem sich ein Galvanometer befindet, in den äußeren Stromkreis ein, so misst das Galvanometer die den eingestellten Kontakten entsprechenden Stromstärken, welche in den bestimmten Phasen der Bewegung den äußeren Stromkreis durchfließen.

Weitere Methoden: Friedrich Drexler [1]) und Behn-Eschenburg, Marcher, [2]) Optische Methode nach Oskar Frölich u. s. w. u. s. w.

214. Unterschied zwischen Gleich- und Wechselstrom.

Der Unterschied zweier Gleichströme besteht nur in den verschiedenen Stromstärken. Fließen zwei oder mehrere Gleichströme durch denselben Draht, so ist die gesammte, resultierende Stromstärke gleich der Summe der Stromstärken der einzelnen Gleichströme.

Zwei verschiedene Wechselströme zeigen folgende Eigenthümlichkeiten:

1. Die mittlere Stromstärke der beiden Wechselströme kann, sowie bei Gleichströmen, ungleich sein.

2. Die Periode der einzelnen Ströme kann verschieden sein:

Macht z. B. eine 12-polige Wechselstrommaschine 1200 Umdrehungen in der Minute, so ist die Anzahl der Polwechsel in der Minute 14400, die Anzahl der Polwechsel in der Sekunde 240, die Anzahl der Perioden 120 und die Dauer einer Periode $\frac{1}{120}$ Sekunde.

Beträgt die Umdrehungszahl einer zweiten, z. B. 16-poligen Wechselstrommaschine, 600 in der Minnte, so ist die Anzahl der Polwechsel in der Minute 9600, die Anzahl der Polwechsel in der Sekunde 160, die Anzahl der Perioden in der Sekunde 80 und die Dauer einer Periode $\frac{1}{80}$ Sekunde.

3. Die Perioden der beiden Wechselströme sind gleich, treten jedoch nicht gleichzeitig in ihre größten Werte ein, gehen also auch nicht gleichzeitig durch ihre Werte Null und die zwischen diesen beiden Werten

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1896, S. 378.

[2]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1897, S. 552.

gelegenen Werte hindurch, d. h. die beiden Wechselströme haben eine verschiedene Phase.

Vereinigt man z. B. die Windungen I und III, (I. Buch, S. 115, Fig. 98), zu einem, die Windungen II und IV zu einem zweiten Stromkreise, so wird im 1. Stromkreise in der gezeichneten Stellung keine Induktion herrschen, während im 2. Stromkreise die Induktion ihren

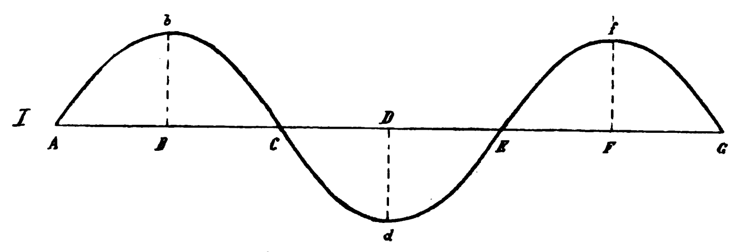


Fig. 245. Wechselstrom.

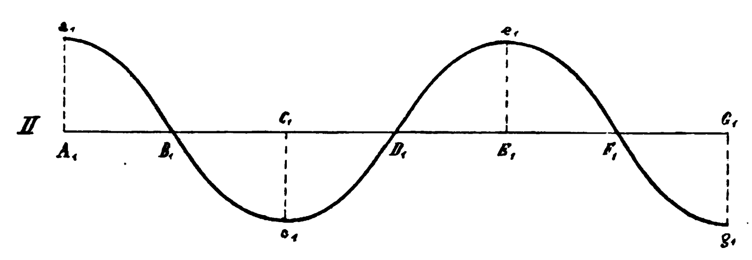


Fig. 246. Um 90° gegen Fig. 245 verschobener Wechselstrom.

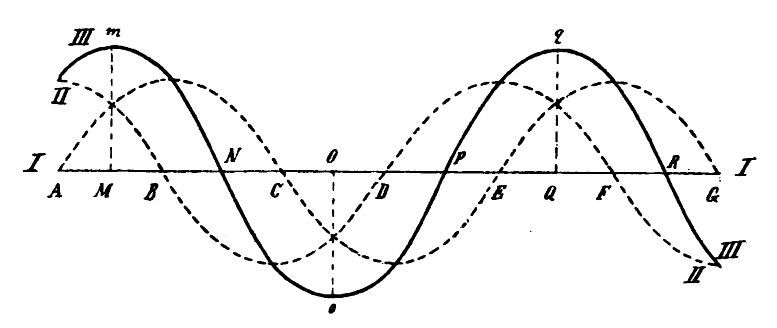


Fig. 247. Konstruktion des resultierenden Wechselstromes III.

größten Wert annimmt. Da die beiden Windungspaare 90° von einander abstehen, ist die Phasendifferenz zwischen den beiden Strömen 90°.

In den Fig. 245 und 246 sind je $1^1/_2$ Perioden solcher Wechselströme durch ihre Wellenlinien wiedergegeben. Die Figuren zeigen, dass der eine Strom immer den Wert Null hat, während der andere seinen größten Wert besitzt.

In *A*, Fig. 245, besitzt der 1. Wechselstrom den Wert Null, während der 2. zu derselben Zeit in A_1, Fig. 246, seinen größten + Wert erlangt.

In *B*, Fig. 245, besitzt der 1. Wechselstrom seinen größten + Wert, während der 2. zu derselben Zeit in B_1, Fig. 246, den Wert Null annimmt.

In *C*, Fig. 245, besitzt der 1. Wechselstrom den Wert Null, während der 2. in C_1, Fig. 246, seinen größten — Wert erreicht u. s. w.

Denkt man sich nun diese beiden Wechselströme durch einen und denselben Leiter fließend, so summieren sich in jedem Augenblicke die gleichzeitigen Stromstärken.

In Fig. 247 geben die punktierten Wellenlinien I und II die beiden einzelnen Wechselströme, die stark ausgezogene Wellenlinie III den resultierenden Wechselstrom wieder.

Aus der Fig. 247, geht hervor:

1. Die resultierenden größten Stromstärken sind größer, als jene der einzelnen Wechselströme.

2. Die größte resultierende Stromstärke ist kleiner, als die Summe der größten Stromstärken der einzelnen Wechselströme.

3. Die Periode des resultierenden Wechselttromes ist dieselbe, wie die der einzelnen Wechselströme.

4. Die Phase des resultierenden Wechselstromes ist eine andere als jene der einzelnen Wechselströme, d. h. der resultierende Wechselstrom und die einzelnen Wechselströme gehen nicht an derselben Stelle (zu derselben Zeit) durch ihre größten, mittleren und Nullwerte hindurch. Der resultierende Wechselstrom geht zwischen den um 90° gegeneinander sn der Phase verschobenen einzelnen Strömen durch die größten, mittleren und Nullwerte hindurch. Der resultierende Wechselstrom ist somit um 45° gegen die einzelnen Wechselströme in der Phase verschoben. Solche Phasenverschiebungen (Phasendifferenzen) finden im Allgemeinen zwischen zwei oder mehreren Wechselströmen statt.

215. Selbstinduktion. Es ist zur Erzeugung einer Phasendifferenz nicht erforderlich, dass man in einen Leiter mehrere Wechselströme tendet. Eine solche Phasendifferenz wird auch dann hervorgebracht, wenn man einen einzigen Wechselstrom in eine Induktionsspule schickt, weil dieser Wechselstrom einen Extrastrom durch Selbstinduktion erzeugt, der ihm entgegenwirkt.

Die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion ist fortwährenden, augenblicklichen Änderungen unterworfen und wechselt während der Zeitdauer einer Periode einmal ihre Richtung (ihr Zeichen).

Die resultierende Stromstärke wird deshalb ihre größten Werte erlangen, wenn die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion die größten Änderungen erleidet (Die Werte Null durchschreitet).

Der größte Wert der inducierenden elektromotorischen Kraft und der Stromstärke werden deshalb nicht gleichzeitig eintreten und der größte Wert der Stromstärke muss geringer sein, als wenn keine Selbstinduktion vorhanden wäre.

Jene elektromotorische Kraft der Selbstinduktion, welche durch eine Änderung der Stromstärke von 0 bis 1 in absoluten Einheiten hervorgerufen wird, nennt man den Selbstinduktionskoëfficienten und bezeichnet denselben mit dem Buchstaben L.

Die Ursachen der Änderungen der Selbstinduktion sind:

1. Die Änderung der geometrischen Gestalt der Induktionsspulen.

2. Das Anwachsen der Selbstinduktion mit der Anzahl der Windungen der Spule.

3. Das Steigen der Selbstinduktion, wenn sich in der Spule oder im äußeren Stromkreise Eisen befindet.

In concentrischen Kabeln erscheint, ähnlich wie in bifilaren Drähten (S. 6), die Selbstinduktion aufgehoben; erstere werden deshalb vortheilhaft zur Fortleitung von Wechselströmen benützt.

Die Selbstinduktion bewirkt in starken Leitern eine ungleiche Vertheilung des Stromes in den einzelnen Querschnitten. Diesem Übelstande wird dadurch abgeholfen, dass man anstatt eines starken Leiters mehrere von einander isolierte schwächere Leiter wählt.

Schaltet man einen Elektromagnet in den Anker oder in die Feldmagnete eines Wechselstrommotors ein, so kann man die Umdrehungszahl ohne stromkonsumierenden Widerstand regulieren; ein Verlust an Strom findet dabei nicht statt (Wechselstrommotor nach Dèri). Eine Induktionsspule gleicht, einer Wechselstrombogenlampe vorgeschaltet, die Schwankungen im Lichtbogen derselben aus, ohne Strom (beziehungsweise Energie) zu tilgen. Man nennt solche Widerstände, welche durch Selbstinduktion wirken, energielose Widerstände.

Schickt man nämlich in einen Elektromagnet einen Wechselstrom, so erzeugt derselbe in seinem Eisenkerne ein magnetisches Feld, welches in den Windungen Strom entgegengesetzter Richtung hervorruft und so das Zustandekommen der vollen Stromstärke, welche dem Ohm'schen Widerstande der Windungen entsprechen würde, verhindert.

Die Selbstinduktion tritt in jedem sich bewegenden Metalltheile eines Induktors auf, ebenso in den Eisenkernen, ja sogar in der Antriebswelle.

In jedem Eisentheilchen entsteht in dem Augenblicke, in welchem es in die Lage der Umkehrung des Magnetismus gelangt, ein Strom,

der diese Umkehrung des Magnetismus verzögert. Dadurch wird das Eisen scheinbar träge in Bezug auf eine Änderung im Magnetismus und erwärmt. Diese Magnetisierung (elektrostatische Hysteresis) ist bei hohen Wechselzahlen sehr bedeutend. Man theilt deshalb den Eisenkern der Dynamo in von einander durch einen Isolator (in der Regel Papier), getrennte Scheiben.

Hochgespannte Ströme, z. B. die Magnetströme von hochgespannten Nebenschlussmaschinen, darf man nie plötzlich unterbrechen, denn die elektromotorische Kraft des Extrastromes (der Selbstinduktion) würde die Isolationsmittel durchschlagen.

Die Selbstinduktion hemmt Stromänderungen, verlangsamt also das Anwachsen und Abfallen des Stromes; man nennt sie deshalb auch elektrische Trägheit.

Die Selbstinduktion wirkt ähnlich wie ein Widerstand, welcher den eigentlichen Ohm'schen (ohne Strom gemessenen) Widerstand erhöht.

Bestimmung des Selbsinduktionskoëfficienten einer Wechselstrommaschine. Man erregt die Feldmagnete mit der normalen Stromstärke und schickt durch den ruhenden Anker einen Wechselstrom, welcher der Stromstärke und Wechselzahl der normalen Leistung der Maschine gleichkommt. Gemessen werden J (Stromstärke), E (Spannung an den Ankerklemmen), W (Ohm'scher Ankerwiderstand). L rechnet man aus der Formel $J = \frac{E}{\sqrt{W^2 + \omega^2 L^2}}$ (I. Buch, S. 127). Abgesehen von einer Magneterregung bestimmt man auf dieselbe Art den Selbstinduktionskoëfficienten eines Elektromagnetes (Drosselspule).

216. Selbstinduktion und Kapacität. Der Kondensator besitzt eine Art negativer Selbstinduktion. In einem Stromkreise, innerhalb dessen sich eine Kapacität befindet, wird der Stromwechsel beschleunigt, die Selbstinduktion eines Stromkreises dagegen verzögert denselben. In Telephonkreisen, welche eine Kapacität enthalten, werden gewisse Wellen beschleunigt, Selbstinduktion dagegen verzögert in solchen Stromkreisen bestimmte Wellen. In beiden Fällen wird das Gespräch undeutlich. Durch passende Wahl von Selbstinduktion und Kapacität wird jede Störung vermieden.

Während die Selbstinduktion wie das Anwachsen eines Widerstandes wirkt, gilt von der Kapacität fast das Umgekehrte.

Könnte man sämmtliche Abtheilungen einer Dynamo durch einen Kondensator überbrücken, so würde durch die Kapacität desselben der Widerstand, während die Abtheilungen unter die Bürsten kommen, verkleinert.

Beim Rhumkorff'schen Funkeninduktor kann man durch das Einschalten eines entsprechend großen Kondensators die Funkenbildung, die beim Öffnungsfunken eintritt, vollständig vermeiden, dagegen werden dann die Schließungsfunken sehr kräftig, weil sich der Kondensator beim Schließen des Apparates entladet. Falls ein Kondensator Anwendung findet, wählt man seine Abmessungen so, dass die beiden Funken gleich stark ausfallen.

Der Kondensator hat den Zweck, den Verlauf der Induktionsströme zu verkürzen, so die in der Zeiteinheit hervorgerufene elektromotorische Kraft zu steigern, ändert aber den Summenstrom der in der sekundären Rolle auftretenden Induktion nicht. Eine genaue Erklärung dieser Erscheinung gab Rayleigh (1876). Derselbe beobachtete die durch eine Leydnerflasche erzeugten Schwingungen, während in die Leitung zugleich eine Induktionsspule und ein Kondensator eingeschaltet waren. Er zeigte durch vielfache Versuche, dass die Kapacität und die Selbstinduktion entgegengesetzte Rollen spielen.

Ein Kondensator hat demnach insbesondere folgende Eigenschaften:

1. Der Kondensator beschleunigt die Phasen der Wellen.

2. Der Kondensator amplificiert die Größe (vergrößert die Amplituden) der Wellen.

Die Selbstinduktion hat die entgegengesetzten Eigenschaften.

Zwischen den Kondensatorplatten findet ein Durchdringen der Elektricität statt; die dadurch entstehenden Verluste sind bei geringen Wechselzahlen ganz unbedeutend.

Tönt ein Kondensator, so ist er in Gefahr. Paraffiniertes Papier erhitzt sich sehr stark, tönt leicht und fängt bald an zu brennen.

Auf der elektrischen Ausstellung im Krystallpalaste zu London (1892) hatte die Firma Swinburne & Co. in Teddington[1]) einen für Versuchszwecke bestimmten Wechselstromkondensator für 130.000 Volt ausgestellt.

Für geringe Selbstinduktion und Kapacität hat Chaperon eine eigene Wickelung der Widerstände angegeben (S. 7). Cauro wickelt ebenso wie Chaperon, geht jedoch nach Ausführung einer Wickelungs-Lage mittelst eines gerade geführten Drahtes zurück und beginnt so die einzelnen Lagen immer an demselben Ende. Dadurch wird die Kapacität halb so groß wie bei Chaperon.

217. Grundgleichung der Wechselstrommaschine. Die elektromotorische Kraft einer Wechselstrommaschine hängt von denselben Größen ab, wie jene einer Gleichstrommaschine (§ 186). Neu hinzu kommt nur

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1892, Seite 267.

ein Zahlenfaktor K. Somit lautet die Grundgleichung der Wechselstrommaschine

$E = 10^{-8} K . \frac{P}{2} . n . C . N = 10^{-8} K p C N$, worin E = Effektivwert der elektromotorischen Kraft der Maschine in Volt, n = Umdrehungszahl in der Sekunde, C = Anzahl der Leiter auf dem äußeren Mantel des Induktors, N = Kraftlinienzahl, welche per Pol in den Anker eintreten, P = Polzahl der Maschine, p = Periodenzahl pro Sekunde $= \frac{P}{2} . n$, K ist ein Zahlenfaktor, welcher von der Form der Kurve der elektromotorischen Kraft abhängt; er liegt innerhalb der Grenzen 1·6—2·5. Für gut gebaute Maschinen, deren elektromotorische Kraft dem sinusartigen Verlaufe sehr nahe kommt, hat K annäherend den Wert 2·2 (Gisbert Kapp).

Obige Formel für die elektromotorische Kraft gilt auch für Gleichstrommaschinen, wenn man unter P nicht die Polzahl, sondern die Anzahl der gleichnamigen Vorsprünge (Polhörner) und unter N die Kraftlinienzahl für einen Vorsprung versteht; dann ist $p = Pn$ und $K = 1$.

218. Mehrphasige Wechselströme.[1])

Nimmt man bei einer Wechselstrommaschine anstatt von zwei, von mehreren Punkten des Induktors, z. B. von drei Punkten, durch drei Schleifringe Strom ab, sowie es in den Fig. 248 bis 250 veranschaulicht erscheint, so erhält man drei Wechselströme und zwar:

1. Einen Wechselstrom zwischen den Bürsten b_1 und b_2.
2. „ „ „ „ „ b_2 „ b_3.
3. „ „ „ „ „ b_3 „ b_1.

Da diese drei Ströme an drei verschiedenen Stellen der Ankerwindungen abgenommen werden, so müssen sie zu gleicher Zeit verschiedene Stärken, verschiedene Phasen haben; man nennt sie deshalb Ströme von verschiedener Phase oder Mehrphasenströme.

Für drei Wechselströme vorschiedener Phase kann man drei vollständig getrennte Leitungen — Sechs-Leiter — oder den Fig. 248 bis 250 entsprechend, sogenannte verkettete Leitungen — Drei-Leiter — verwenden.

Die drei concentrischen Kreise der Fig. 248 bis 250 bedeuten drei Schleifringe, welche durch die Anschlüsse 1, 2 und 3 mit drei in der Zeichnung um 120° von einander abstehenden Punkten der Ankerwickelung verbunden sind. Auf den drei Schleifringen schleifen die Bürsten

[1]) Kratzert, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1893, Heft XVII und XVIII.

b_1, b_2 und b_3. Die drei Hauptleitungen des Systemes sind mit den Buchstaben L_1, L_2 und L_3 bezeichnet.

Aus den drei verschiedenen Stellungen des Induktors während einer Umdrehung Fig. 248 bis 250 ist ersichtlich, dass der Strom während einer Umdrehung immer nur bei einer Bürste die Maschine verlässt,

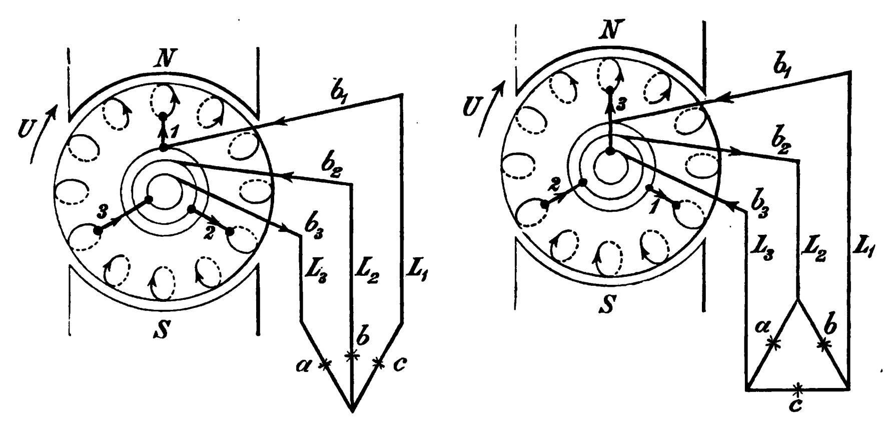


Fig. 248. Sternschaltung der Lampen. Fig. 249. Netzschaltung der Lampen.

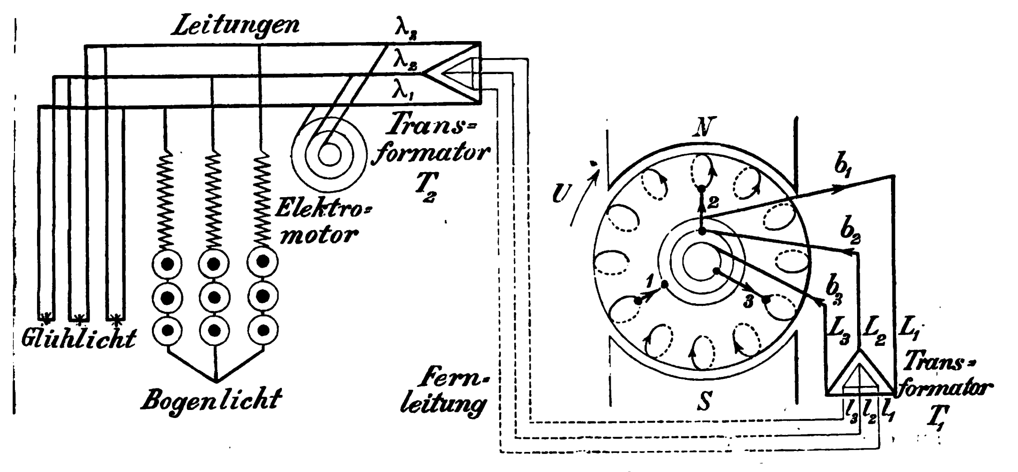


Fig. 250. Mehrphasenstromanlage.

während er in zwei Bürsten zurückfließt. Das von einer Umdrehung Angegebene gilt von jeder weiteren Umdrehung. Es dienen demnach immer eine Leitung als Hin-, die beiden anderen als Rückleitung des Stromes.

Während der Stellung des Induktors, welche in Fig. 248 wiedergegeben ist, kommt der austretende Strom von dem Anschlusspunkte 2,

während der in Fig. 249 festgehaltenen Stellung von dem Punkte 1, während der Stellung Fig. 250 von dem Punkte 3. Da diese 3 Punkte 2, Fig. 248, 1, Fig. 249 und 3, Fig. 250, gegen die Magnetpole dieselbe Lage haben, muss die Intensität des von denselben abgenommenen Stromes immer dieselbe sein. Durch je eine Bürste fließt der Strom von der Maschine in voller Stärke J und durch je zwei Bürsten in gleichen Hälften $\frac{J}{2}$ zur Maschine zurück. Ist die Stromstärke an der Bürste b_3 in der Stellung Fig. 248 gleich J, dann muss dieselbe in der Stellung Fig. 249 gleich $-\frac{J}{2}$ und in der Stellung 250 ebenfalls gleich $-\frac{J}{2}$ sein.

Die algebraische Summe $J - \frac{J}{2} - \frac{J}{2} = 0$.

Die Stromstärken an den Bürsten b_1 und b_2, in den Fig. 248 bis 250, führen zu identischen Gleichungen. Daraus ergibt sich der Satz:

Die algebraische Summe des durch eine Bürste während einer Umdrehung des Induktors fließenden Stromes ist gleich Null.

Eine ähnliche Folgerung führt zu dem von M. von Dolivo-Dobrowolsky gefundenen Satze: Die algebraische Summe der drei Ströme an den drei Bürsten ist in jeder einzelnen der drei Stellungen, Fig. 248 bis 250 gleich Null.

Führt man demnach die drei Leitungen in einem Bündel, so findet keine Wechselwirkung gegen benachbarte Ströme, Magnete oder Eisenmassen statt, während die einzelnen Leitungen solche Wirkungen verursachen. So wird z. B. ein einzelner der drei Leiter auf Eisen gelegt, durch in demselben erzeugte Induktionsströme bewegt, während ein aus den drei Leitungen bestehendes Bündel in Ruhe verbleibt.

Da die algebraische Summe des durch jede Bürste während jeder Umdrehung fließenden Stromes gleich Null ist, so müssen auch die resultierenden Stromstärken einander gleich sein und es erhalten alle drei, an die drei Bürsten angeschlossenen Hauptleitungen L_1, L_2 und L_3, Fig. 248 bis 250 denselben Querschnitt.

Aus Fig. 248 erkennt man, dass bei der Reihen- (Stern- oder offenen) Schaltung für die Lampen a, b und c dieselben Stromverhältnisse platzgreifen, wie für die Hauptleitungen L_1, L_2 und L_3, während die Spannung zwischen je zwei Hauptleitungen größer ist, als die Spannung jeder einzelnen Lampe.

Bei der Nebenschluss- (Dreiecks- oder geschlossenen) Schaltung, Fig. 249, herrscht zwischen je zwei Hauptleitungen dieselbe Spannung,

wie an jeder einzelnen Lampe, die Stromstärken der einzelnen Lampen *a, b* und *c* sind jedoch kleiner als die Stromstärke in jeder Hauptleitung.

Fig. 250 zeigt eine Dreiphasenmaschine in Verbindung mit Transformatoren und in gemischter Schaltung mit Glüh-, Bogenlampen und einem Dreiphasenmotor. Der niedrig gespannte Strom tritt bei der Bürste b_1 und der Hauptleitung L_1 aus der Maschine in den primären Transformator T_1 und verlässt denselben in den Hauptleitungen L_2 und L_3, welche zu den Bürsten b_2 und b_3 der Maschine zurückführen. Der in dem Transformator T_1 inducierte, sekundäre, hochgespannte Strom fließt durch die Fernleitungen l_1, l_2 und l_3 in den sekundären Transformator T_2, in welchem derselbe in niedrig gespannten Strom transformiert wird, welcher in den Leitungen λ_1, λ_2 und λ_3 als Nutzstrom Verwendung findet.

Als ein Beispiel zutreffender Spannungen seien angeführt:

100 Volt in der Maschine, 10000 Volt in der Fernleitung, 100 Volt im Nutzstromkreise bei einer Entfernung von rund 30 *km*.

In der Fig. 240 sind im Nutzstromkreise bei 100 Volt zwischen je zwei Hauptleitungen drei Glühlampen in Parallelschaltung, dreimal drei Bogenlampen in Hintereinanderschaltung und ein Elektromotor eingeschaltet. Motoren sind stets an alle drei Hauptleitungen angeschlossen. Durch die in der Fig. 250 getroffene Anordnung der Glüh- und Bogenlampen ist eine gleiche Belastung zwischen den einzelnen Leitungen λ_1 λ_2 und λ_3 erzielt, wenngleich diese Bedingung bei Mehrphasenströmen nicht vollkommen eingehalten werden muss.

Eigene Schaltungen und Anordnungen der Mehrphasenmaschine, des Transformators, des Motors und des Elektricitätszählers, sowie Mittel zur Erzeugung von Phasendifferenzen habe ich in einer Abhandlung, betitelt: „Neues Drehstromsystem“[1]) angegeben.

219. Arbeit der Mehrphasenströme.

Die elektrische Arbeit eines Wechselstromes

$$a = i \,.\, e \,.\, \cos \alpha \text{ (I. Buch, S. 124).}$$

Da Mehrphasenströme aus mehreren Wechselströmen bestehen, lässt sich für dieselben diese Gleichung ohne weiters anwenden. Beispielsweise braucht jeder Stromnehmer in den Fig. 248 oder 249 eine elektrische Arbeit

$$A_1 = J \,.\, E \cos \alpha,$$

alle drei Stromnehmer verbrauchen also eine elektrische Arbeit

$$A = 3\, A_1 = 3\, J \,.\, E \cos \alpha,$$

---

[1]) Kratzert, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1893, Heft 19, Seite 269.

worin J gleich ist der Stromstärke eines Stromnehmers gemessen z. B. mit einem Elektrodynamometer nach Siemens & Halske oder Ganz & Co., einem Elektrometer, einem Kalorimeter, einer Normalstromwage nach Sir W. Thomson u. s. w. und E gleich ist der Spannung des Systemes, Spannung zwischen je zwei Hauptleitungen, gemessen z. B. mit dem Spannungselektrodynamometer nach Siemens & Halske, dem Voltmeter nach Cardew, dem Hitzdrahtvoltmeter nach Hartmann & Braun, dem elektrostatischen Voltmeter nach Sir W. Thomson, mit Elektrometern u. s. w.

Direkte Messungen der elektrischen Arbeit A besorgt das Arbeitselektrodynamometer nach Siemens & Halske.[1]) H. Aron misst die Arbeit der Mehrphasenströme, sowie die der Gleich- und Wechselströme mit seinem Elektricitätszähler. Allgemein giltige Messmethoden zur Messung von Mehrphasenströmen hat Hans Görges[2]) aufgestellt.

In einem Stromkreise, in welchem nur Glüh- oder Bogenlampen eingeschaltet sind, findet keine Phasenverschiebung statt; in einem solchen muss demnach

$$\cos \alpha = 1 \text{ oder}$$
$$\alpha = 0 \text{ sein.}$$

Enthält ein Stromkreis Elektromotoren, Transformatoren oder Induktionsspulen, dann findet eine Phasendifferenz statt und es ist

$$\cos \alpha < 1 \text{ zu ermitteln.}$$

Annähernd ergibt sich für Elektomotoren

$$\cos \alpha = 0{\cdot}5 \text{ bis } 0{\cdot}9$$

Bei Aufstellung der Arbeitsgleichung wurde die Giltigkeit des Sinusgesetzes für Strom und Spannung, gleichgroße Perioden, sowie gleiche Belastung in den einzelnen Zweigen der Mehrphasensysteme und eine Phasendifferenz von 120^0 vorausgesetzt.

Eine ganz allgemein giltige Formel hat Hans Görges ebenfalls in der eben angeführten Abhandlung aufgestellt.

220. Das Drehfeld.

In den Fig. 248 bis 250 ist der Vorgang der Stromerzeugung in drei aufeinanderfolgenden Stellungen des Induktors ersichtlich gemacht.

Schickt man den so erzeugten Strom in einen beispielsweise festgelegten Ring, Fig. 251, bis 253, wobei dieser Ring gerade so aufgebaut sein kann, wie jener in den Fig. 248 bis 250 dargestellte, so ergeben sich beiläufig folgende Richtungen der resultierenden magnetischen Felder:

---

[1]) Dr. F. Zickermann, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1891, Seite 509.

[2]) Hans Görges, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1891, Seite 214 ff.

1. Der Ring, Fig. 251, sei mit der Maschine, Stellung 248, verbunden. Das resultierende magnetische Feld hat die Richtung N_1 S_1, Fig. 251.

2. Der Ring, Fig. 252 sei mit der Maschine, Stellung Fig. 249, verbunden. Das resultierende magnetische Feld hat die Richtung N_2 S_2, Fig. 252.

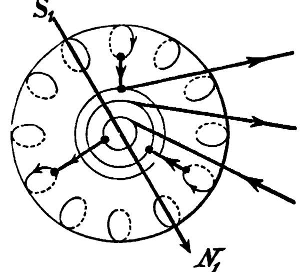


Fig. 251.

3. Der Ring, Fig. 253, sei mit der Maschine, Stellung 250, verbunden. Das resultierende magnetische Feld hat die Richtung N_3 S_3, Fig. 253.

Es ergibt sich daraus, dass das magnetische Feld während einer Umdrehung des Induktors ebenfalls eine Umdrehung macht.

Aus diesem Grunde hat M. von Dolivo-Dobrowolsky[1]) das so erzeugte magnetische Feld ein Drehfeld, die dasselbe erzeugenden Maschinen Drehstrommaschinen und die durch letztere angetriebenen Elektromotoren, Drehstrommotoren genannt.

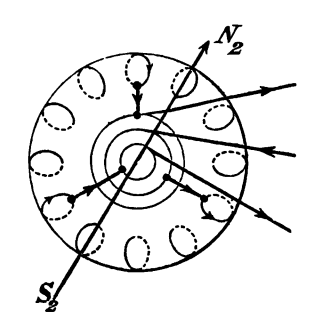


Fig. 252.

Durch Gleichstrom erhält eine in der Nähe befindliche Magnetnadel oder ein Strom eine bestimmte feste Einstellung, durch Wechselstrom werden dieselben in eine pendelnde, durch ein Drehfeld dagegen in eine drehende (rotierende) Bewegung versetzt.

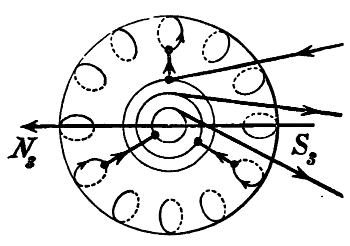


Fig. 253.
Magnetisches Drehfeld.

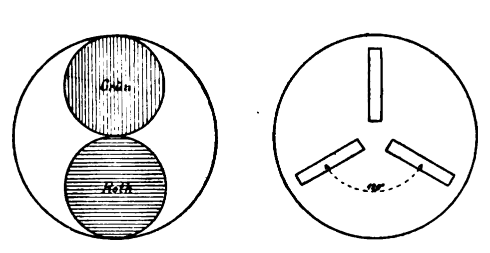
221. Darstellung des Stromverlaufes und der Richtung der Mehrphasenströme.

Die Lösung der Aufgabe, die drei Wechselströme (§ 217) objektiv zu veranschaulichen, ist H. Behrend[2]) in äußerst einfacher Weise gelungen. Die hierzu erforderliche Vorrichtung besteht aus zwei kreisförmigen Scheiben aus Kartonpapier, Fig. 254 und 255. Die beiden

[1]) M. von Dolivo-Dobrowolsky, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1891 S. 151.

[2]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1891, Heft 34.

Scheiben, welche in den Bildern nebeneinander erscheinen, befinden sich beim Versuche so übereinander, dass sie sich vollständig decken. Die untere Scheibe, Fig. 254, zeigt zwei sich berührende, gleichgroße Kreisflächen in verschiedenen Farben (z. B. blau und roth). Die obere Scheibe, Fig. 255, ist an drei um 120 Grad gegeneinander verschobenen Stellen geschlitzt. Nun befestigt man beide Scheiben durch eine Stecknadel, welche durch die Mittelpunkte der großen Scheibenflächen führt, auf einem Brett (Tafel). Die drei Schlitze sind nun auf verschiedene Längen gefärbt. Durch Drehung der unteren Scheibe ändert sich sowohl die Länge der farbigen Streifen als auch ihre Färbung (blau oder roth). Die Längen der einzelnen Färbungen stellen die Stromstärken, die Färbungen die Richtungen der Ströme vor. Bringt man in der oberen Scheibe anstatt drei nur zwei Schlitze an, welche nicht um 120, sondern um 90° gegeneinander verstellt sind, dann versinnlicht diese neue Vorrichtung den Stromverlauf zweier um 90° gegeneinander in der Phase verschobener Wechselströme.



Darstellung der Mehrphasenströme.

Fig. 254. Untere Scheibe. Fig. 255. Obere Scheibe.

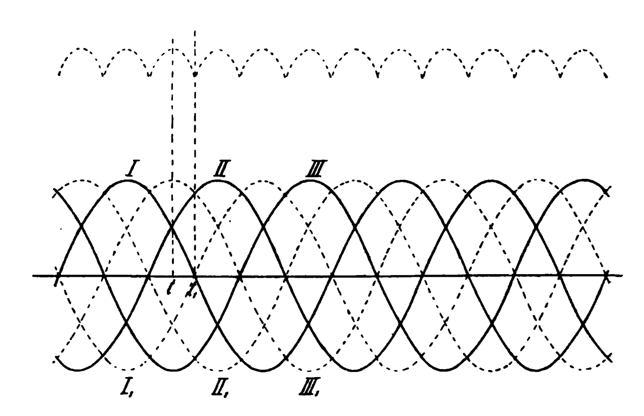


Fig. 256. Magnetisierende Kräfte im Dreiphasenmotor (120° Phasendifferenz).

222. Die Schwankungen des Drehfeldes. Fig. 256 zeigt die drei um 120° gegeneinander in der Phase verschiedenen Wechselströme I, II und III.

Zur Zeit t ist die Summe der Ströme I u. II $= 2 \sin 30^0 . i \; max. = 2 . 0{\cdot}5 \; i \; max. = i \; max,$

zur Zeit t ist der Strom III $= i \; max.,$

d. h. I + II = III. (Vergleiche auch § 217).

Zur Zeit t_1 ist I $= 0$, II $= \sin 60^0 \; i \; max.$, III $= \sin 60 \; i \; max.$,

d. h. I + II = III. u. s. w.

Wir wollen nun die Schwankung der Summe der absoluten Beträge der 3 Ströme (oder Spannungen), welche das Magnetfeld erzeugen,

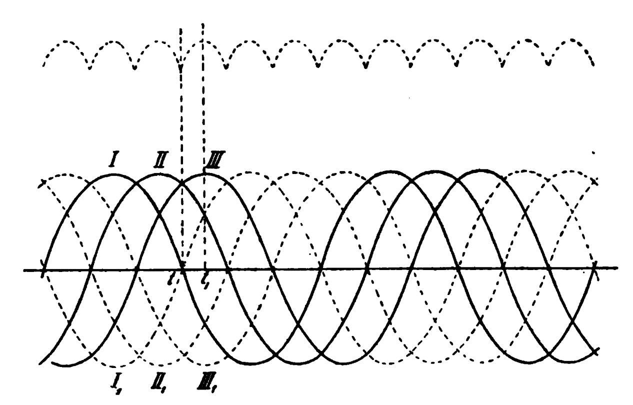


Fig. 257. Magnetisierende Kräfte im Dreiphasenmotor (60° Phasendifferenz).

bestimmen. Aus der Figur 256 ersieht man, dass die Schwankungen zu den Zeiten t und t_1 verschiedene Werte zeigen, welche sich innerhalb weiterer, gleicher Zeitintervalle regelmäßig wiederholen. Denn

zur Zeit t $2 \sin 30^0 . \; i \; max. = i \; max. + i \; max. = 2 \; i \; max.,$

„ „ t_1 $\sin 0^0 + \sin 60^0 \; i \; max. + \sin 120^0 \; i \; max. = 2 \sin 60^0 \; i \; max. = 2 . 0{\cdot}86603 \; i \; max. \sim 1{\cdot}732 \; i \; max.$

Die Summe der absoluten Beträge der drei Ströme (oder Spannungen) schwankt zwischen $2 \, i$ und $1{\cdot}732 \, i$, also um 15% ihres Mindestwertes ($1{\cdot}732 \, i$). Dasselbe Resultat erzielt man mit drei Strömen, welche sich um 60° in der Phase unterscheiden, Fig. 257. Durch eine der obigen Betrachtung ähnliche findet man, dass bei zwei Strömen mit 90° Phasendifferenz die Schwankung des Drehfeldes 40% beträgt (Siehe auch Johann Sahulka [1]). Diese Schwankungen werden umso geringer, je größer die Anzahl der Phasen ist und scheinen keinen schädlichen Einfluss auszuüben.

[1]) Johann Sahulka, Über Wechselstrommotoren mit magnetischem Drehfelde, Seite 13.

223. Mehrphasensysteme. Zu den gebräuchlichsten Systemen zählen: 1. Zweiphasenstrom: *a*) Zwei unabhängige Stromkreise. *b*) Zwei von einander abhängige Stromkreise, wenn man zwei von den vier Drähten als gemeinsame Rückleitung vereinigt. 2. Dreiphasenstrom. Das Zweiphasenstrom-System benützt zwei, das Dreiphasenstrom-System drei Stromkreise. Praktisch werden die drei Stromkreise nicht unabhängig geführt, weil sonst sechs Leitungen erforderlich würden. Man unterscheidet: *a*) Unabhängige Ströme mit vier Drähten und einer Rückleitung für die drei anderen. *b*) Abhängige Ströme mit drei Drähten gleicher Stromstärke (nach von Dolivo-Dobrowolsky Drehströme genannt). 3. Das monocyklische System (Steinmetz) mit drei Drähten und drei Phasen, durchgeführt mittelst eines einphasigen Wechselstromes und einer Zwischenleitung für einen um 90° gegen den genannten Strom verschobenen Wechselstrom. Die Zwischenleitung dient zur Fortleitung des zum Anlassen der Motoren nothwendigen Stromes. 4. Das polycyklische System nach Chas. P. Steinmetz. 5. Ulbricht's-System des einfachen Wechselstrombetriebes für die Beleuchtung von Dreiphasenmaschinen aus. 6. C. F. Scott's Umwandlung eines Zweiphasen- in ein Dreiphasen-System. 7. Das Vertheilungssystem Galileo Ferraris und Ricardo Arno.

224. Schaltungen der Mehrphasenströme. Die Arten der Schaltung der Spulen der Dynamo, Motoren und der Schaltung der Lampen sind: 1. Unabhängige Stromkreise. 2. Unabhängige, verbundene Stromkreise, wenn ein dritter (Zweiphasenstrom) oder vierter Draht (Dreiphasenstrom) als Rückleitung dient. 3. Sternschaltung (Offene Schaltung). 4. Netzschaltung (Geschlossene Schaltung, Dreiecks-, Ring- oder Kranzschaltung). 5. Gemischte Schaltung.

Bei sämmtlichen Schaltungen wird im Folgenden ein symmetrisch gebautes und symmetrisch belastetes System vorausgesetzt. Sämmtliche Schaltungen dieses § sind in einfachsten Schemen und in Ausführungen auf dem Ringe wiedergegeben.

225. Zusammensetzung der elektromotorischen Kräfte. Diese Zusammensetzung soll sich auf die elektromotorischen Kräfte der einzelnen Spulen und auf die Bestimmung der Spannung zwischen den Leitungen beziehen.

Die *E. M. K.* (Elektromotorische Kraft) der Spule *a*, Fig. 258, sei $e \sin \alpha$, wenn e die Amplitude des Wechselstromes vorstellt (I. Buch,

S. 116). Die Zusammensetzung der *E. M. K.* erfolgt entweder graphisch (I. Buch, S. 120, 121) oder analytisch mit Hilfe der bekannten trigonometrischen Formeln

$$e \sin \alpha + e \sin (\alpha + \varphi) = 2 e \sin \frac{2 \alpha + \varphi}{2} \cos \varphi \text{ und}$$

$$e \sin \alpha - e \sin (\alpha + \varphi) = - 2 e \cos \frac{2 \alpha + \varphi}{2} \sin \varphi \text{ u. s. w.}$$

Hier sollen Zwei- und Dreiphasenströme in Betracht kommen.

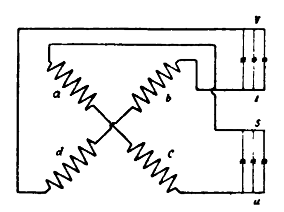


Fig. 258. Unabhängige Stromkreise (Schema).
Spannungen:
Spule $a : e \sin \alpha$
$a + c : 2 e \sin \alpha$
$b + d : 2 e \cos \alpha$

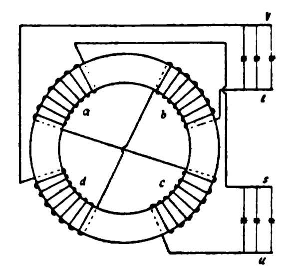


Fig. 259.
Unabhängige Stromkreise am Ringe.

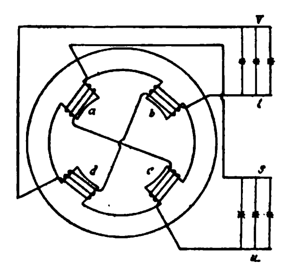


Fig. 260.
Unabhängige Stromkreise (vierpolige Dynamo).

226. Zusammensetzung der elektromotorischen Kräfte bei Zweiphasenstrom.

a) Unabhängige Spulen, Fig. 258 bis 260. Die *E. M. K.* der Spulen a oder $c = e \sin \alpha$ (§. 225). Die *E. M. K.* der beiden Spulen a und $c = 2 e \sin \alpha$, weil diese beiden Spulen im gleichen Sinne, so dass sich die *E. M. K.* addieren, hintereinander geschaltet sind. Die *E. M. K.* der beiden anderen Spulen b oder d ist einzeln gleich $= e \sin (90 + \alpha) = e \cos \alpha$, weil diese Spulen gegen die Spulen a und c um 90^0 gegeneinander verstellt sind. Die Summe der *E. M. K.* der beiden Spulen b und $d = 2 e \cos \alpha$. Fig. 258 gibt die schematische Anordnung, Fig, 259 die Ausführung auf einem Ringe, Fig. 260 die Ausführung auf einer vierpoligen Dynamo wieder.

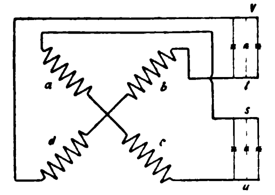


Fig. 261.
Sternschaltung (Schema).
Spannungen:
Spule $a : e \sin \alpha$
$a + c : 2 \sin \alpha$
$b + c : \sqrt{2} . e \sin (\alpha + 45^0)$

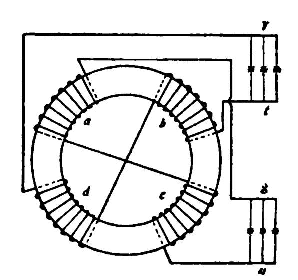


Fig. 262.
Sternschaltung am Ringe.

b) Sternschaltung, Fig. 261 und 262. Die *E. M. K.* $s + u$ ist wieder wie vorhin $= 2\ e \sin \alpha$, die *E. M. K.* zwischen $t + v$ dagegen $= \sqrt{2}\ .\ e \sin (\alpha + 45^0)$, denn $e \sin \alpha + e \sin (90^0 + \alpha) = e\ [\sin \alpha + \sin (90^0 + \alpha)]$ ist nach der allgemeinen Formel (§ 225) $= e \sin (\alpha + 45^0) \cos 45^0$ (und da $\cos 45^0 = {}^1/_2 \sqrt{2}) = \sqrt{2}\ e \sin (\alpha + 45^0)$ $= 1{\cdot}4 \sin (\alpha + 45^0)$.

c) Netzschaltung, Fig. 263 und 264. Die *K. M. K.* der Spule $a =$ *E. M. K.* zwischen den zwei Leitungen, welche man von den Enden dieser Spule wegzieht. Die *E. M. K.* $s + u = \sqrt{2} e \sin (\alpha + 45^0)$, jene $v + t = - \sqrt{2}\ e \cos (\alpha + 45^0)$, nach der früher angegebenen Formel (§ 225).

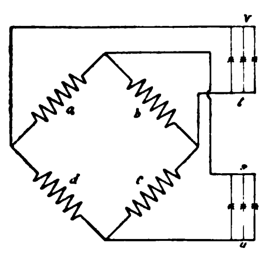


Fig. 263.
Netzschaltung (Schema).
Spannungen:
Spule $a : e \sin \alpha$
$s\,u : \sqrt{2}\,.\,e \sin (\alpha + 45)$
$v\,t : - \sqrt{2}\,.\,e \cos (\alpha + 45)$
Ströme:
Spule $b : i \sin \alpha$
$c : - i \cos \alpha$
$t : \sqrt{2}\,.\,i \sin (\alpha + 45^0)$

d) Gemeinsame Rückleitung, Fig. 265 und 266. Die *E. M. K.* zwischen der gemeinsamen Rückleitung und jeder der beiden anderen Leitungen $= 2\ e \sin \alpha$, die *E. M. K.* zwischen den beiden gesonderten Drähten $= 2 \sqrt{2}\ e \sin (\alpha + 45^0)$.

Fig. 264.
Netzschaltung am Ringe.

227. Zusammensetzung der *E. M. K.* bei Dreiphasenstrom.

a) Sternschaltung, Fig. 267 und 268. Die *E. M. K.* der Spule $a = e \sin \alpha$. Die *E. M. K.* sei von dem gemeinsamen Punkte aus positiv. Die *E. M. K.* in b befolgt dann die Formel: $e \sin (\alpha - 120^0)$. Die Spannung $s + t$ oder der Unterschied der *E. M. K.* in a und $b = e \sin \alpha - e \sin (\alpha - 120^0) = \sqrt{3}\ .\ e \sin (\alpha + 30^0)$. In dem Diagramme Fig. 269 stellen a, b und c die *E. M. K.* in den Spulen a, b und c, Fig. 267 oder 268, vor. Soll nun

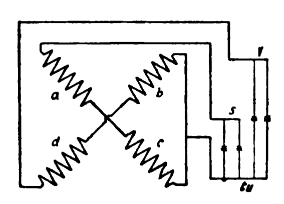


Fig. 265.
Gemeinsame Rückleitung.
Spannungen:
Spule $a : e \sin \alpha$
$a + c : 2\,e \sin \alpha$
$b + d : 2\,e \cos \alpha$
$s\,v : 2 \sqrt{2}\ e \sin (\alpha + 45^0)$
Ströme:
$s : i \cos \alpha$
$v : i \sin \alpha$
$tu : \sqrt{2}\,.\,i \sin (\alpha + 45^0)$

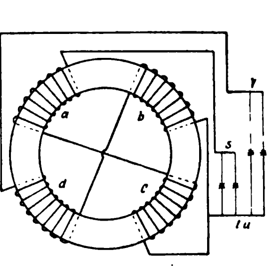


Fig. 266.
Gemeinsame Rückleitung am Ringe.

die *E. M. K.* in *b* von derjenigen in *a* abgezogen werden, dann müssen wir *b* über den Mittelpunkt hinaus verlängern und das so verlängerte *b* mit *a* nach dem Kräfteparallelogramm (I. Buch, S. 120 und 121) zusammensetzen. Die strichpunktierte Gerade stellt sodann die resultierende *E. M. K.* vor. In Fig. 269 liegt diese *E. M. K.* 30^0 hinter *a*, während nach der letzten

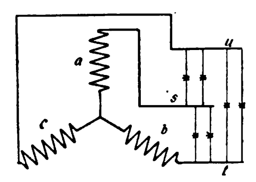


Fig. 267. Sternschaltung.
Spannungen:
Spule $a : e \sin \alpha$
$b : e \sin (\alpha + 120)$
$s\,t : \sqrt{3}.\, e \sin (\alpha + 150)$
$t\,u : \sqrt{3}.\, e \sin (\alpha + 90)$
$s\,u : \sqrt{3}.\, e \sin (\alpha + 210)$

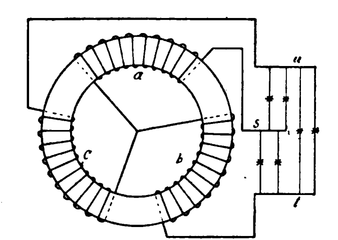


Fig. 268. Sternschaltung am Ringe.

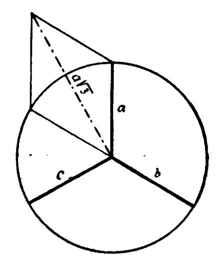


Fig. 269. Zusammensetzung der Spannungen *a*—*b*.

Gleichung $\sqrt{3}\,.\; e \sin (\alpha + 30^0)$ die resultierende *E. M. K.* thatsächlich vor *a* zu liegen kommt. Aus derselben Figur folgt auch ohneweiters, dass die resultierende *E. M. K.* $\sqrt{3} = 1{\cdot}73$mal so groß ist, als die *E. M. K.* der einzelnen Spulen *a* oder *b* (*a* stellt den maximalen Wert der *E. M. K.* in der Spule *a*, also den Wert *e* in der letzten Formel dar). Sind Dynamo und Motor in Sternschaltung vereinigt und man verbindet die Mittelpunkte der beiden Systeme durch eine Ausgleichsleitung, so gelten bei symmetrischer Belastung dieselben Beziehungen, wie bei einfacher Sternschaltung.

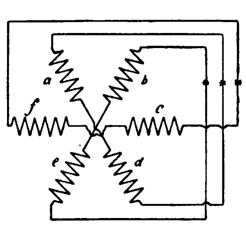


Fig. 270. Drei unabhängige Spulenpaare (Schema).

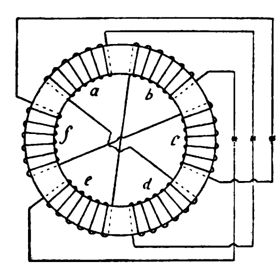


Fig. 271. Drei unabhängige Spulenpaare am Ringe.

b) Drei unabhängige Spulenpaare, Fig, 270 und 271. Die Spule *a* und *d*, *c* und *f*, sowie *b* und *e* sind hintereinander geschaltet und stehen um je 120^0 gegeneinander ab. Sie folgen deshalb den für Fig. 267 (Sternschaltung) gegebenen Gesetzen. Wir können sie deshalb in Sternschaltung, Fig. 272 und 273, vereinigen. Die Spannung zwischen *m* und *o* beträgt dann $2\,\sqrt{3}\,\sin (\alpha + 30^0)$.

c) Netzschaltung, Fig. 274 und 275. Die *E. M. K.* der Spule $a =$ *E. M. K.* zwischen den Leitungen *s* und *u*. Für praktische Zwecke dienen auch mehr als drei Spulen [sowie unter *b*) für Sternschaltung hier

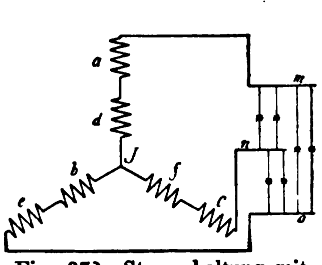
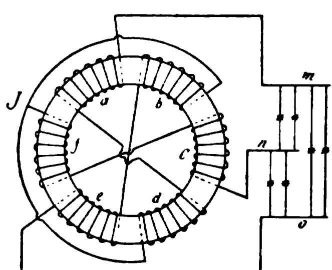


Fig. 272. Sternschaltung mit 6 Spulen (Schema).



Fg. 273. Sternschaltung mit 6 Spulen am Ringe.

für Netzschaltung]. Fig 276 und 277 zeigen eine Netzschaltung mit sechs Spulen. Dann ist die Spannung zwischen *r* und $t = 2\, e \sin \alpha$.

d) Gemischte Schaltung oder vereinigte Stern- und Netzschaltung, Fig. 278 und 279. Auch hier ist die *E. M. K.* in $a = e \sin \alpha$. Die *E. M. K.* zwischen zwei Leitungen z. B. zwischen *r* und *s* hat dann den Wert $2\, e \sin (\alpha - 60^0)$.

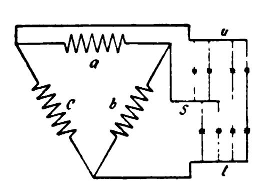


Fig. 274. Dreieckschaltung (Schema).
Spannungen:
Spule $a : e \sin \alpha$
„ $b : - e \sin (\alpha + 120^0)$
Ströme:
Spule: $a : i \sin \alpha$
„ $b : - i \sin (\alpha + 120^0)$
„ $s : \sqrt{3}\, i \sin (\alpha + 150^0)$.

228. Zusammensetzung der Ströme

Das erste Kirchhoff'sche Gesetz (I. Buch, S. 33, § 42) gilt für die effektiven Werte (I. Buch, S. 123) nur dann, wenn die Ströme gleiche Phase (I. Buch, S. 75 und 116) haben. Die Resultierende zweier Ströme findet man einfachst durch das Diagramm S. 120, Fig. 100. Die Resultierende der Ströme *OA* und *OB* ist der Strom *OC*.

Analytisch bestimmt man die Resultierende der

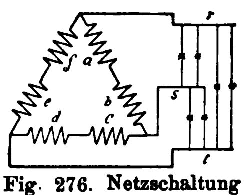


Fig. 276. Netzschaltung mit 6 Spulen (Schema).

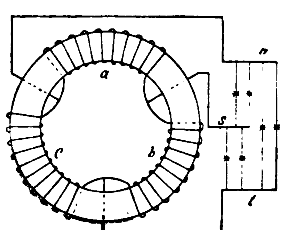


Fig. 275. Dreieckschaltung am Ringe.

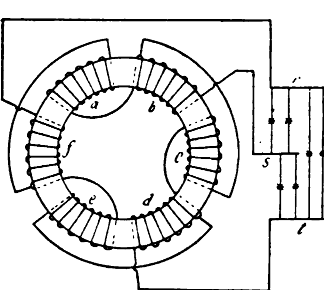


Fig. 277. Netzschaltung mit 6 Spulen am Ringe.

beiden Ströme $a \sin (\alpha + \varphi)$ und $b \sin (\alpha + \varphi)$ nach der allgemeinen trigonometrischen Formel:

$$\sqrt{a^2 + b^2 + 2\,ab \cos (\varphi_2 - \varphi_1)} \,.\, \sin (\alpha + \varphi_3), \text{ wobei}$$

$tg\ \varphi_3 = \dfrac{a \sin \varphi_1 + b \sin \varphi_2}{a \cos \varphi_1 + b \cos \varphi_2}$, welche Formel sich aus einer früheren

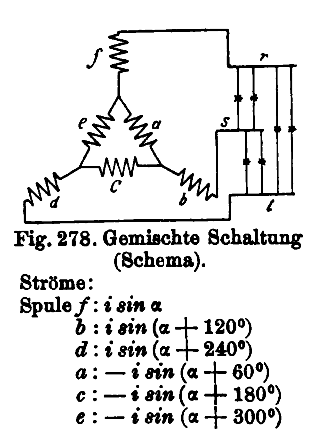


Fig. 278. Gemischte Schaltung (Schema).
Ströme:
Spule f: $i \sin \alpha$
b: $i \sin (\alpha + 120^0)$
d: $i \sin (\alpha + 240^0)$
a: $- i \sin (\alpha + 60^0)$
c: $- i \sin (\alpha + 180^0)$
e: $- i \sin (\alpha + 300^0)$

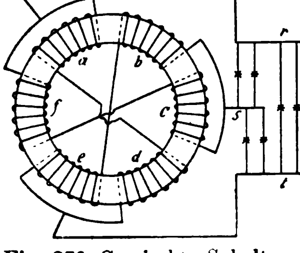


Fig. 279. Gemischte Schaltung am Ringe.

Figur (I. Buch, S. 129, Fig. 112) ableiten lässt. Bei der Sternschaltung soll die Richtung vom gemeinsamen Verbindungspunkte weg, in der Netzschaltung die Richtung der Uhrzeigerbewegung als positiv angesehen werden. In Fig. 263 ist der Strom in der Leitung s gleich der Summe der Ströme in den Spulen a und b also $i \sin \alpha + i \sin (\alpha - 90^0) = \sqrt{2}\ i \sin (\alpha + 45^0)$. Bei der Sternschaltung und in unabhängigen Wickelungen hat der Strom in den Spulen denselben Wert wie in den Leitungen. Für die Schaltung in der Fig. 265 und 266 erhalten wir dieselbe Formel, d. h. der Strom in dem gemeinsamen Drahte ist $\sqrt{2} = 1{\cdot}4$ mal so groß als der Strom in den beiden anderen Drähten, weil wir diese Schaltung als Netzschaltung ansehen können. [1]) Die Netzschaltung für Dreiphasenstrom folgt der Gleichung $\sin \alpha - \sin (\alpha - 120^0) = \sqrt{3}, \sin (\alpha + 30^0)$.

229. Phasen- und verkettete Spannung. Bezeichnen wir die Spannung an den Enden der einzelnen Spulen als Phasenspannung, die Spannung zwischen den verketteten Leitungen als verkettete Spannung, dann gelten die folgenden Beziehungen:

---

[1]) Rodet et Busquet, Les courants polyphases, S. 19.

1. Zweiphasenstrom.

	Spannung.	Strom.
a) Sternschaltung	$\sqrt{2} \cdot e \sin (\alpha + 45)$.	$e \sin \alpha$.
b) Netzschaltung	$e \sin \alpha$.	$\sqrt{2} \cdot i \sin (\alpha + 45)$.

2. Dreiphasenstrom.

	Spannung.	Strom.
a) Sternschaltung	$\sqrt{3} \cdot e \sin (\alpha + 30^0)$.	$e \sin \alpha$.
b) Netzschaltung	$e \sin \alpha$.	$\sqrt{3} \sin (\alpha + 30^0)$.

$$\sqrt{2} = 1{\cdot}4,\ \sqrt{3} = 1{\cdot}73.$$

Aus dieser übersichtlichen Darstellung folgt die allgemeine Regel: Bei der Netzschaltung ist die verkettete Spannung = Phasenspannung, die verkettete Stromstärke = Phasenstromstärke. Diese Regel gilt für Zwei- und Dreiphasenströme zugleich. Bei Netz- und Sternschaltung vertauschen demnach Strom und Spannung ihre Plätze. Die übrigen Werte sind bei Zweiphasenstrom 1·4mal, bei Dreiphasenstrom 1·73mal so groß als die Spannung einer Spule.

230. Wickelung der Mehrphasenstrom-Motoren.[1]) Jeder Motor besteht aus einem rotierenden und aus einem ruhenden Theil. Silv. P. Thompson nennt diese beiden Theile rotor und stator. K. Strecker hat diese Wörter mit Läufer und Ständer aus der englischen in die deutsche Sprache übersetzt. Wenn man diese beiden Theile mit Anker und Feldmagnet der Gleich- und Wechselstrom-Maschinen vergleicht, so vertritt bei den Mehrphasen-Motoren in der Regel der feststehende Theil den Anker, während bei den früher genannten Maschinen der Anker zumeist rotiert. Läufer und Ständer bestehen fast immer aus weichen, von einander isolierten Eisenblechen (§ 169) und entsprechen am nächsten den bereits besprochenen Loch- und Nuten-Ankern. Die Löcher, beziehungsweise Nuten dienen wieder zur Aufnahme der Wickelung.

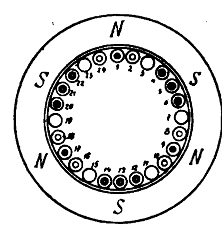


Fig. 280. Schema zur Erklärung der Mehrphasenwickelungen.

231. Wickelung des Läufers. Die Stäbe oder Windungen des Läufers müssen immer so hintereinandergeschaltet sein, dass sich die Ströme gegenseitig addieren. Die beste Wickelung erreicht man, wenn bei einer zweipoligen Maschine die Windungen einen Durchmesser oder

[1]) Mit Benutzung von Silv. P. Thompson (K. Strecker), Mehrphasige elektrische Ströme und Wechselstrommotoren.

nahezu einen Durchmesser, in einer vierpoligen Maschine etwa 90°, in einer sechspoligen etwa 60° umspannen.

Behufs Erklärung der Mehrphasenwickelungen verwenden wir mit Silv. P. Thonpson einen Läufer mit 24 Leitern, Fig. 280. Die 24 Leiter befinden sich in 24 Löchern nahe dem Mantel der Blechscheiben. Der Läufer rotiert, in einem sechspoligen Drehfelde mit den Polen *N S N S N S*. In den Leitern 1, 9 und 17 entstehen gleichzeitig gleichgroße, gleichgerichtete Ströme, in den Leitern 5, 13 und 21 dagegen entgegengesetzt gerichtete Ströme. Diese sechs Leiter nennt Thompson ähnlich gelegene und stellt ihre Verbindung folgend übersichtlich dar.

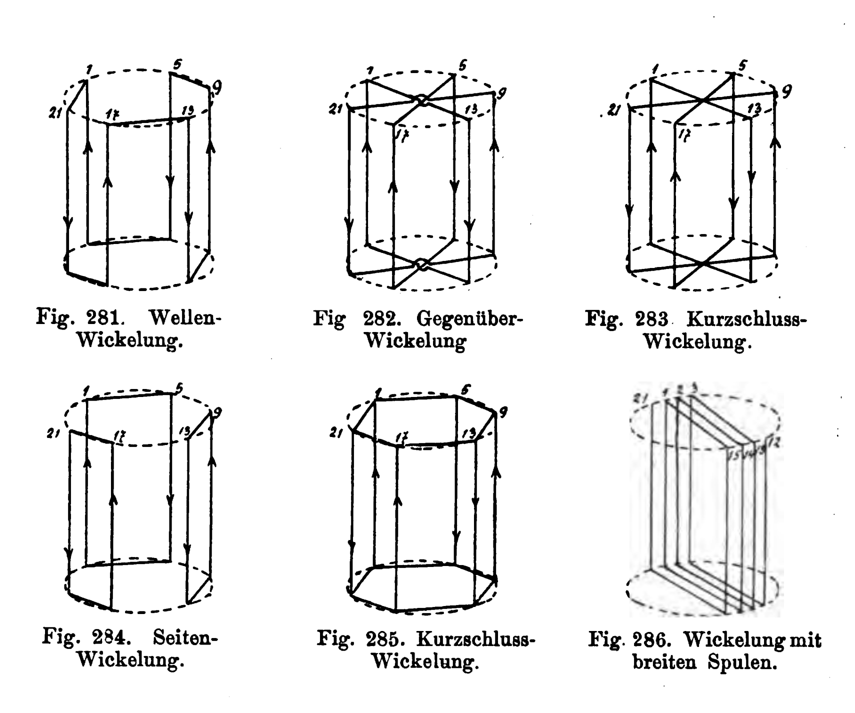


Fig. 281. Wellen-Wickelung.

Fig 282. Gegenüber-Wickelung

Fig. 283 Kurzschluss-Wickelung.

Fig. 284. Seiten-Wickelung.

Fig. 285. Kurzschluss-Wickelung.

Fig. 286. Wickelung mit breiten Spulen.

1. Methode. Alle ähnlich gelegenen Drähte in Reihe, Fig. 281. Durch die Hintereinanderschaltung von je sechs Leitern erhalten wir eine Art Zickzack- oder Wellenwickelung. So entstehen die vier geschlossenen Stromkreise:

1, 5, 9, 13, 17, 21,
2, 6, 10, 14, 18, 22,
3, 7, 11, 15, 19, 23,
4, 8, 12, 16, 20, 24.

2. Methode. Die ähnlich gelegenen Leiter diametral zu Gruppen verbunden. Man vereinigt so wie bei einer gewöhnlichen Siemens-Trommel jeden Leiter mit dem diametral gegenüberliegenden zu einer geschlossenen Windung, beziehungsweise Abtheilung, Fig. 282. Der ganze Läufer besteht dann aus 12 in sich kurz geschlossenen Stromkreisen. Man kann jedoch, da die elektromotorischen Kräfte in den diametral einander gegenüberliegenden Leitern einander gleich sind, nach dem Kirchhoff'schen Gesetze an den Kreuzungspunkten metallisch verbinden, Fig. 283. Dasselbe führt man mit den übrigen 18 Leitern durch.

3. Methode. Benachbarte ähnlich gelegene Drähte werden verbunden, Fig. 284. Je zwei benachbarte ähnlich gelegene Leiter bilden einen Stromkreis. Aus sechs Leitern ergeben sich dann drei und für den ganzen Läufer 12 unabhängige Stromkreise. Der Leiter 1 kann außer mit 5 auch mit 21 zu einem Stromkreise gestaltet werden, Fig. 285 (Trillerkäfig).

4. Methode. Benachbarte Leiter als ähnlich gelegene verbunden. Anstatt eines Leiters kann man auch mehrere nebeneinanderliegende Leiter sowie ähnlich gelegene verbinden, Fig. 286. Hier sind die Leiter 24, 1, 2, 3 auf der einen Seite und 12, 13, 14, 15 auf der anderen Seite verbunden. Die weitere Schaltung dieser Leiter kann erfolgen:

a) 24 mit 15, 1 mit 14, 2 mit 13, 3 mit 12.

b) Parallelschaltung. Man verbindet 1, 2, 3 und 24 an den beiden Enden untereinander und ebenso 12, 13, 14 und 15.

c) Hintereinanderschaltung. Alle sechs Leiter werden hinteinander geschaltet, Fig. 286. Wir erhalten dann drei Abtheilungen von je acht Leitern u. s. w.

5. Methode. Gruppierung behufs Einschaltung eines Anlasswiderstandes zur Steigerung der Zugkraft beim Anlassen der Motoren. Man verwendet vortheilhaft drei Reihen von Windungen in Sternschaltung, so dass dieselben einen gemeinsamen Knotenpunkt und drei freie Enden erhalten, welche zu drei Schleifringen führen. Je ein Anlasswiderstand (zumeist Flüssigkeitswiderstand) wird nun zwischen die drei Bürsten und einen gemeinsamen Knotenpunkt geschaltet. Dabei soll die Zahl der Leiter für einen Pol des Drehfeldes durch drei theilbar sein, weil man sonst für die Sternschaltung statt drei, vier Schleifringe benöthigt. Dieser Bedingung entspricht ein 24-theiliger Läufer nicht, weil 24 : 3 (Phasen) = 8 nicht durch drei theilbar ist. Für diesen Zweck muss der Läufer beispielsweise aus 18, 36, 54 u. s. w. Leitern bestehen.

232. Wickelung des Ständers. Der Ständer wird entweder als Siemenstrommel oder als Gramme'scher Ring (vorwiegend bei kleinen Motoren) ausgeführt. Die Grammewickelung zeigen frühere Schemen (Fig. 258, 270 u. s. w.). Die Ausführung einer Trommelwickelung nach Brown gibt Fig. 287 wieder. Je zwei ähnlich gelegene Löcher bilden ein Löcherpaar, z. B. 3 und 6. Der Draht jeder Spule kann mehrmals

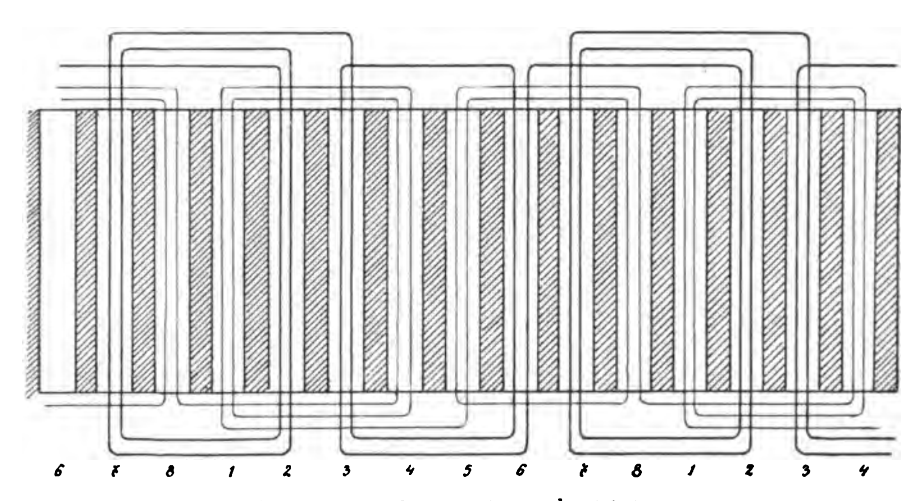


Fig. 287. Ständer mit Trommel-Wickelung.

dieselben Löcher passieren, so dass mehrere Windungen gebildet werden, bis er zu dem nächsten Löcherpaar gelangt. Im Schema Fig. 287 enthält jede Spule zwei Windungen.

233. Umbau einer Gleichstrommaschine auf einen Mehrphasenstromerzeuger. Man verbindet mehrere Punkte der Ankerwickelung mit Schleifringen (Netzschaltung). Die Spannung der Gleichstrommaschine haben den Wert E, der Ankerstrom sei J, die Anzahl der Phasen m, so beträgt die effektive Spannung in jeder Phase

$$\frac{1}{2} \sqrt{2} \, . \, m \, . \, E \, . \, J \sin \frac{\pi}{m}.$$

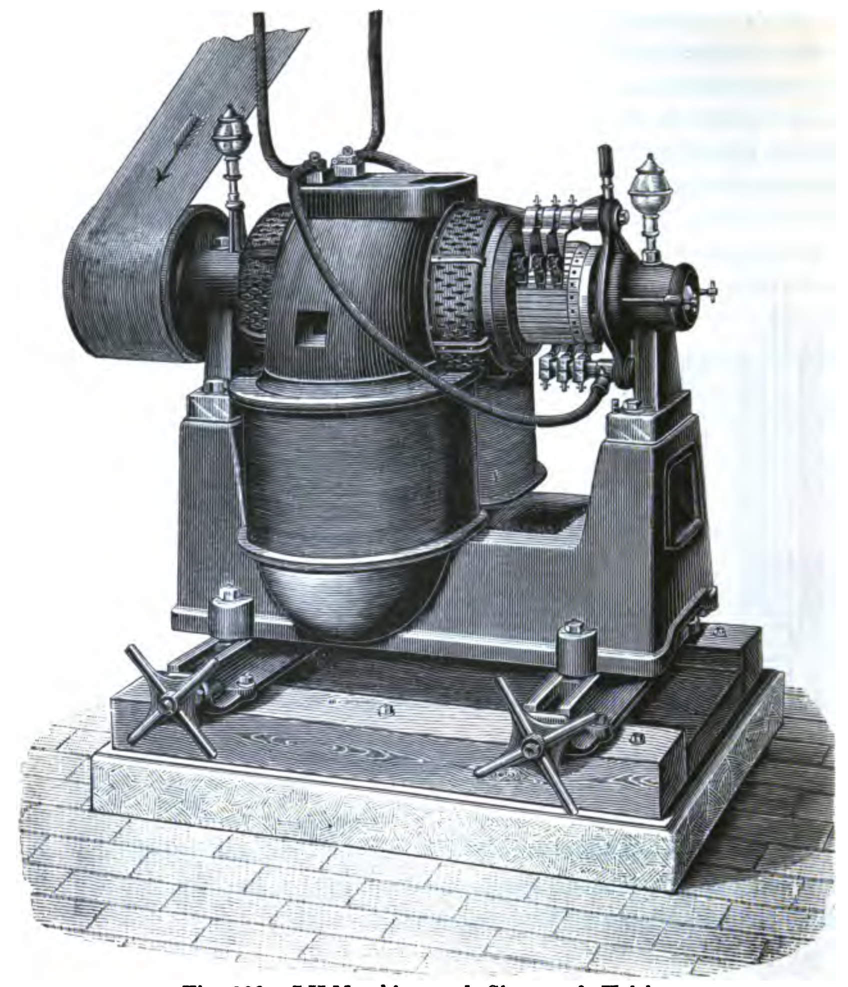


Fig. 288. LH-Maschine nach Siemens & Halske.

X. Kapitel.

Beschreibung von Dynamomaschinen und Elektromotoren.

234. Die Maschine der Type LH nach Siemens & Halske, Fig. 288.

Diese Maschine ist aus der Type *H* derselben Firma (S. 164, Fig. 169) hervorgegangen. Die wichtigsten Neuerungen sind:

1. Die Außenflächen der Polschuhe der Type *H* waren abgeschrägt; die der *LH* sind abgerundet.

2. Die Magnetkerne der Type *H* hatten einen kreisförmigen Querschnitt; der Querschnitt der Magnetkerne der Type *LH* ist nahezu halbkreisförmig. Die ebenen Flächen der letzteren Kerne sind einander zugewendet.

3. Die Innenfläche der Polschuhe der *H*-Maschinen war kleiner, als jene der *LH*-Maschinen.

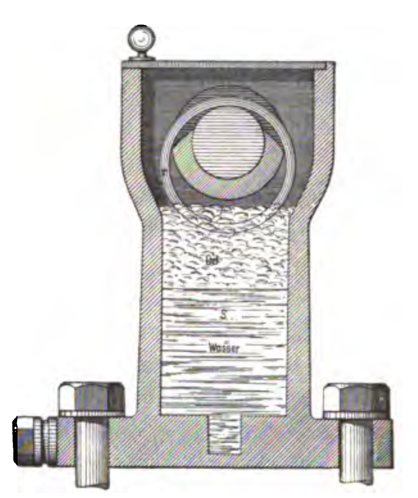
Die Magnetkerne der *LH*-Maschinen sind kurz und reichlich dimensioniert, die Anzahl der Kraftlinien für 1 cm^2 ist eine sehr geringe. Der Magnetständer und das Eisengestell bestehen aus einem Stück Gusseisen oder Stahlguss. Die viereckigen Öffnungen an den Außenflächen der Polschuhe dienen zum Aufheben und Transportieren der Maschine. Das Kupfergewicht der Magnetschenkel ist den erzielten höchsten Nutzeffekten angemessen.

Die *LH*-Maschinen sind mit Original-Siemenstrommeln tadelloser Ausführung ausgerüstet. Die Trommelwindungen der Maschinen höherer Leistungen bestehen aus Drahtlitzen, welche geeignet erscheinen, die Bildung von Wirbelströmen gänzlich auszuschließen. Für kleinere Maschinen findet ein Luftkollektor, für größere ein eigens aufgebauter Kollektor aus Kupfertheilen Verwendung; der letztere ist so eingerichtet, dass beschädigte Theile leicht auswechselbar sind. Die eigene Konstruktion des Bürstenapparates zeigt zumtheile Fig. 167. Die von der Firma erzeugten Kupfergazebürsten, in den federnden Bürstenhaltern, führen den Strom vollkommen funkenlos von dem Kollektor in das Leitungsnetz. Die Kupfergazebürsten ermöglichen einen geräuschlosen Gang der Maschine. Der Reibungskoefficient zwischen Bürsten und Kollektor hat einen kleinsten Wert. Die Maschinen werden, durch eine Holzzwischenlage von der Erde isoliert, auf Schienen aufgestellt. Für das Nachspannen des Riemens sorgt die in der Figur ersichtliche Riemenspannvorrichtung.

Die *LH*-Maschinen werden als Hauptstrom-Nebenschluss- und gemischt geschaltete Maschinen und Motoren mit Leistungen von 1450 bis 100000 Watt bei 1800 bis 500 Umdrehungen gebaut.

235. Das Modell N der Vereinigten Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft, Fig. 289 bis 291. Der Magnetkörper, die Grundplatte und die Lagerständer sind aus einem Stücke gegossen (zumeist aus Gusseisen oder Stahlguss). Die Magnetkerne haben einen kreisförmigen Querschnitt. Die Polschuhe sind so ausgebohrt, dass die Polflächen das größtmögliche Flächenausmaß erhalten (Die Bohrung reicht bis zur Achse der Kerne).

Fig. 289. Modell N der Vereinigten Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. B. Egger & Co.



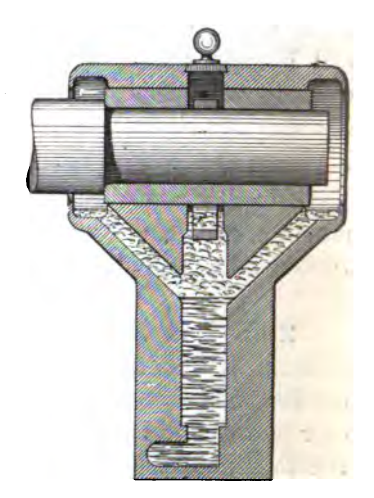


Fig. 290. Lagerständer. Fig. 291.

Die Eisenkerne des Trommelankers sind direkt auf die Welle aufgesetzt, die Eisenscheiben durch dünnes Papier von einander isoliert und durch Endscheiben zusammengehalten. Die Trommeln sind zumeist glatt. Eine gegenseitige Verschiebung der Drähte am Umfange ist durch Anbringung von festen Keilen hintan gehalten. Für höhere Leistungen finden parallelgeschaltete Drähte Verwendung. Trotz des verhältnismäßig großen Trommeldurchmessers erscheint die Bürstenverschiebung ganz gering. Der Kollektor ist auf eine eiserne Büchse aufgebaut. Die Kollektortheile bestehen aus Kupferguss und sind von einander und von der Büchse in der Regel durch Pressspan isoliert. Die Kollektorbüchse sitzt auf der Welle. Eine eigene Bürstenvorrichtung ermöglicht, vermittels eines Wurmgewindes eine äußerst bequeme und sichere Handhabung der Bürsten. Die Maschinen besitzen für größere Leistungen mehrere Bürsten nebeneinander. Das Auswechseln und die Einstellung einzelner Bürsten können während des Betriebes anstandslos vorgenommen werden. Die in der Figur 289 ersichtliche Riemenspannvorrichtung hat eine einfachste Konstruktion.

Die Lager sind mit selbstthätiger Ringschmierung versehen. Das System der Lager mit Ringschmierung, Fig. 290 und 291, besteht darin, dass über den Lagerhals der Welle je nach der Größe der Maschine ein oder mehrere Ringe *r*, Fig. 290 und 291, aus Bronce, deren Durchmesser bedeutend größer ist, als der Lagerhals, aufgehängt sind. Diese Ringe befinden sich in entsprechenden Aussparungen *a*, Fig. 291, der Lagerschale oder Lagerbüchse, während die untere Hälfte des Umfangs derselben in eine Ölschichte, Fig. 290, taucht. Bei einer Drehung des Lagerhalses wird jeder Ring durch seine Auflagereibung ebenfalls in drehende Bewegung versetzt und eine Ölschichte mit sich führen, die er zum großen Theile beim Laufe über den Wellenrücken abgibt und diesen dadurch reichlich schmiert. Der Lagerständer ist hohl und bei größeren Maschinen zumtheile mit Wasser, Fig. 290, gefüllt, auf welches Öl gegossen wird. Das vom Lager ablaufende Öl gelangt wieder in den Hohlraum des Lagerständers zurück und dient von Neuem zur Schmierung. Etwaige Unreinigkeiten setzen sich am Boden des Lagerständers ab; dadurch bleibt die Ölschichte immer rein. Durch eine am unteren Ende des Lagerständers angebrachte Öffnung kann die Flüssigkeit leicht abgelassen werden.

Die Ringschmierung bietet folgende Vortheile:

1. Das Lager schmiert sich vollständig selbstthätig und sehr ausgiebig.

2. Die Wartung des Lagers beschränkt sich auf eine Reinigung und Neufüllung des Ölbehälters nach monatelangem Betriebe.

3. Der Ölverbrauch ist trotz reichlicher Schmierung ein ganz geringer, da dasselbe Öl immer wieder zur Verwendung kommt.

Alle anderen Schmiervorrichtungen bedingen ein öfteres Nachfüllen der Schmiergefäße. Da beim Füllen, beziehungsweise Nachfüllen der Schmiergefäße sehr häufig Öl vergossen wird und das Nachfüllen bei der Ringschmierung äußerst selten erforderlich ist, können bei der letzteren Schmierung in großen Betrieben hohe Beträge erspart werden.

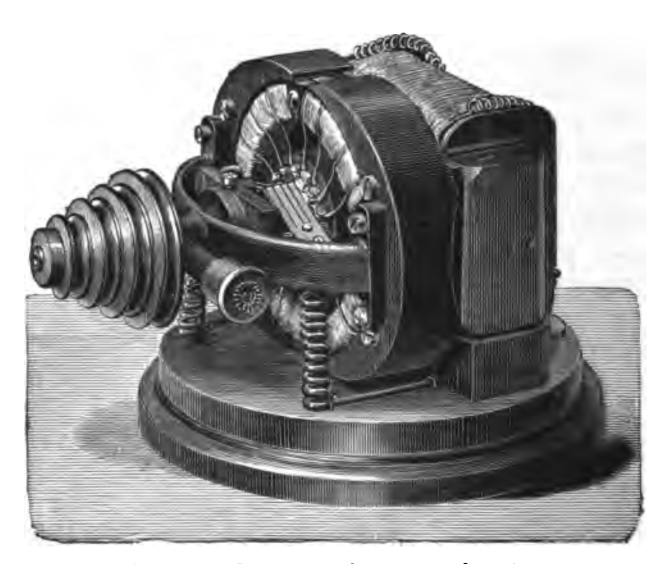


Fig. 292. K-Motor nach Siemens & Halske

Diese Maschinen der obigen Firma wurden zuerst von mir, seit dem Jahre 1888, in den verschiedenen Größen von 200 bis 25.000 Watt berechnet und finden mit den verschiedensten Spannungen und Schaltungen für Licht und Kraft Verwendung.

236. Die K-Motoren nach Siemens & Halske, Fig. 292, sind kleine Motoren einfachster Konstruktion. Das Magnetgestell besteht aus einem einzigen Gussstücke. Die Polschuhe umfassen den Grammering sichelförmig. Die Stromabnahme erfolgt durch Kupfer- oder Kohlenbürsten; letztere polieren den Kollektor ohne jede Abnützung. Zur Schmierung dient konsistentes Fett, so dass die Motoren wochenlang ohne jede Wartung arbeiten. Der Motor wird auf ein Holzbrett montiert, lauft geräuschlos und kann in jeder Lage an der Wand, am Fußboden oder auf Konsolen befestigt werden. Auch zum direkten Antriebe von

Arbeitsmaschinen sind diese Motoren vorzüglich geeignet. Die Firma baut diese Kraftmaschinen in 4 Größen und zwar für 0·1, 0·2, 0·5 und 1 Pferdestärke. Vom kleinsten bis zum größten Modelle varieren die Umdrehungszahlen zwischen 2000 und 1000; die Motoren stehen zu Tausenden in praktischer Verwendung.

237. Kleiner Gleichstrom-Motor. Die Figuren 293 und 294 geben einen von mir berechneten Gleichstrommotor wieder, dessen Abmessungen und andere Angaben in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind. Anker und Magnete sind hintereinander geschaltet (Serienmotoren), so dass bei den Motoren von $^1/_{20}$ bis zu 1 *H. P.* ein Anlasswider-

Tabelle (Maße in *mm*).

	Leistung in *H. P.*	Buchstaben der Figuren 293 und 294	$^1/_{20}$	$^1/_{10}$	$^1/_5$	$^1/_2$	1
Wattverbrauch	Volt	—	100	100	100	100	100
	Ampére	—	0·74	1·47	2·9	7·36	8 83
	Umdrehungen per Minute	—	2000	2000	2000	1000	1000
Anker	Durchmesser des Ankers außen	A	92	120	150	186	250
	Durchmesser des Ankers innen	B	67	93	121	151	160
	Länge des Ankers	C	13	26	41	54	80
	Weglänge der Kraftlinien	—	125	169	218	263	322
	Drahtstärke	—	0 5	0·6	0·8	1	1·3
	Gesammtwiderstand in Ohm kalt	—	5·98	4·55	3·4	1·66	0·54
	Gesammtgewicht in *kg* blank	—	1	1	1.25	2·8	5·6
	Anzahl der Lagen	—	8	6	6	4	4
	„ „ Abtheilungen	—	16	20	28	32	36
	„ „ Wdgn. in d Abtheilungen	—	196	133	96	53	42
	„ „ Drähte am Umfang	—	3140	2664	2670	1780	576
	Gesammtdrahtlänge in Metern	—	387	280	280	360	477
	Durchmesser der Welle	D	18	24	26	28	32
Magnet	Durchmesser der Bohrung	E	110	140	168	204	255
	Breite des Kernes	F	15	20	30	40	50
	Höhe des Kernes	G	65	95	116	145	180
	Höhe des Joches	I	—	—	—	—	2·62
	Mitte Kern bis Mitte Polschuh	K	—	—	—	—	114
	Weglänge der Kraftlinien in den Magneten	—	—	—	380	465	573
	Magnetampère	—	0·74	1·47	2·9	7·36	8·83
	Drahtstärke blank	—	0·65	1	1·4	2	2·6
	Gesammt-Wdst. in Ohm	—	—	—	2·96	1·66	0 922
	Drahtgewicht eines Schenkels in *kg*	—	—	—	1·84	7·5	12
	Anzahl der Lagen	—	10	10	10	10	8
	Anzahl der Wdg. pro Lage	—	—	—	35	32	31
	Magnetkörper in *kg*	—	—	—	20	41	68
	Elektrisches Güteverhältnis	—	35	50	86	89	94
Raum-Bedarf	Länge	M	—	178	228	280	342
	Breite	N	—	240	350	440	550
	Höhe	O	—	142	175	220	275
	Nettogewicht des Motors ohne Riemenscheibe	—	—	—	—	56	100

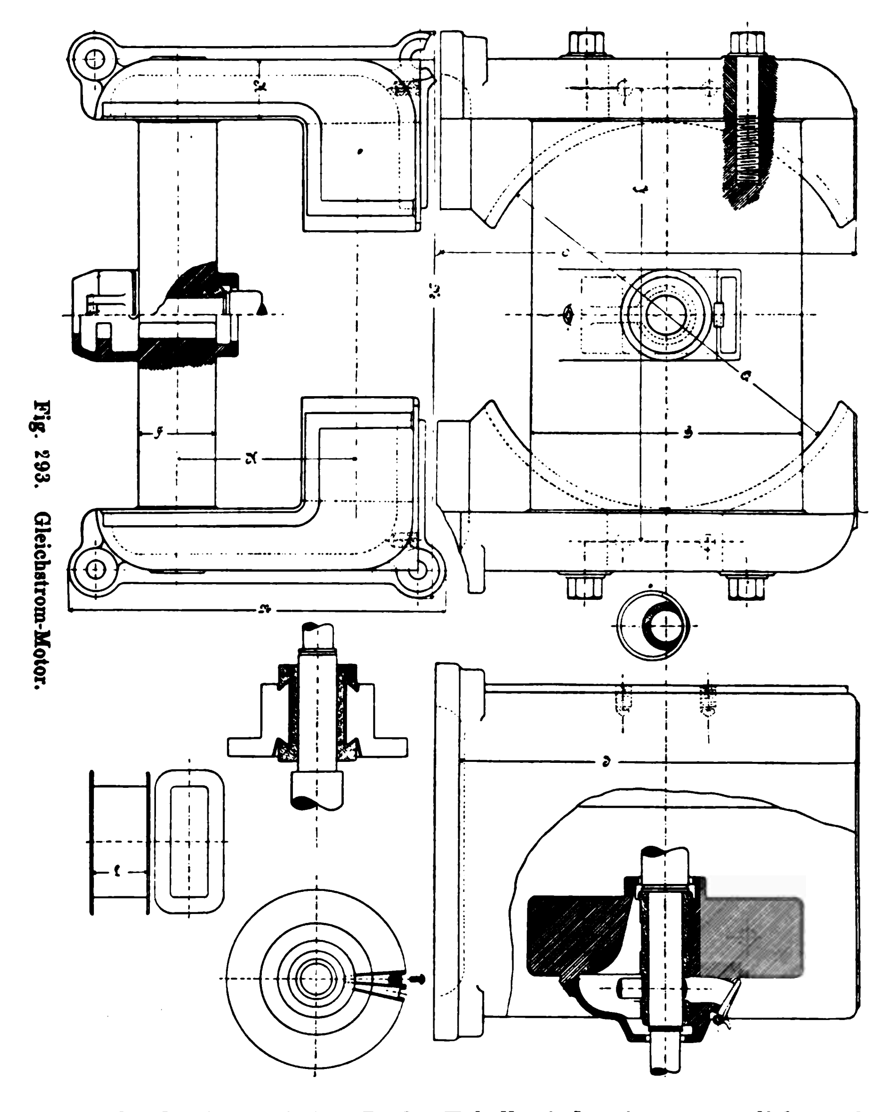


Fig. 293. Gleichstrom-Motor.

stand überflüssig erscheint. In der Tabelle sind weiters sämmtliche Anker als glatte Anker gedacht. Bei Nuten-Ankern sinkt die Tourenzahl etwa um $^1/_3$ der in der Tabelle angegebenen Touren. Der Magnetkörper ist aus Stahlguss, der Anker aus Eisenblech hergestellt. Die Polschuhe sind bei den größeren dieser Motoren mit dem Joche verschraubt, bei den kleineren dieser Motoren besteht der gesammte Magnetkörper aus einem Gussstück. Die Figuren 293 und 294 stellen einen solchen Motor zu 1 *H. P.* vor.

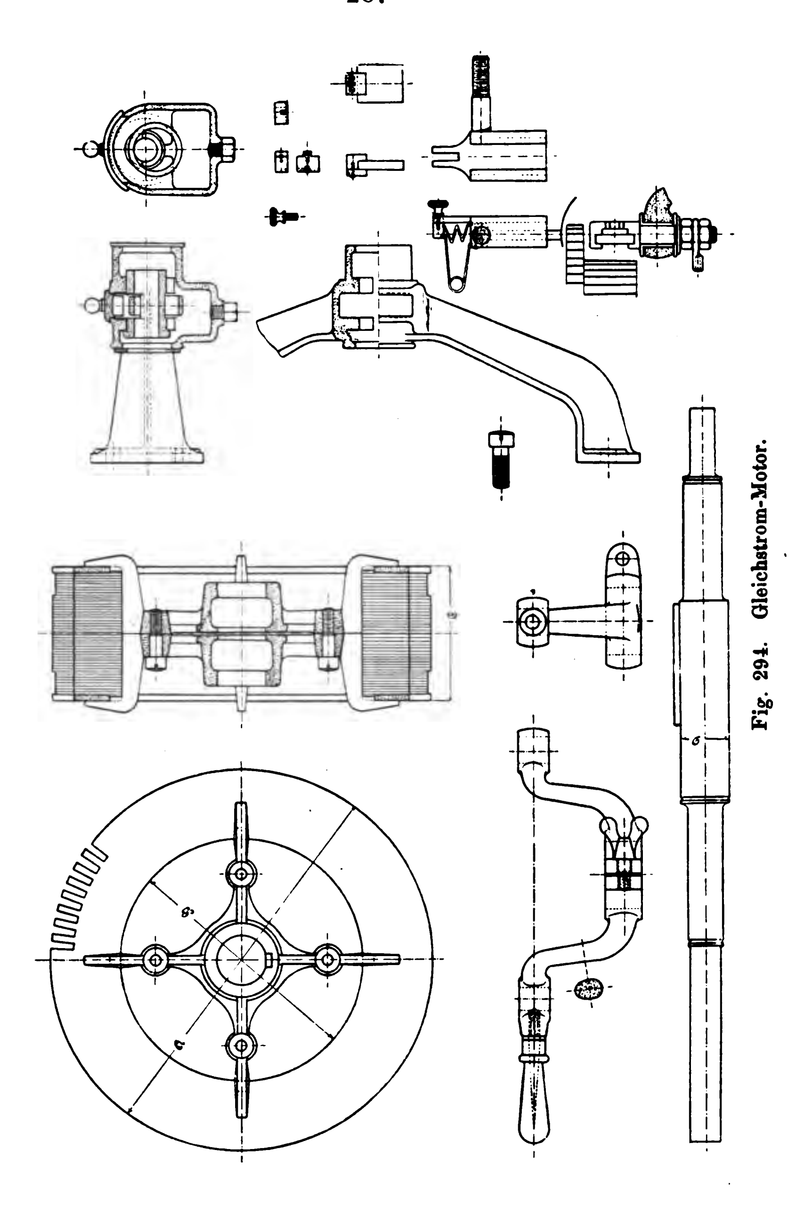


Fig. 294. Gleichstrom-Motor.

238. Die Manchestermaschine der Österr. Schuckert-Werke vormals Kremenezky, Mayer & Co. in Wien. Die Figur 273 stellt ein Bild dieser Konstruktion dar. Die cylindrischen Magneteisenkerne bestehen aus Schmiedeeisen, das obere Joch und das obere Polstück bilden ein Gussstück aus Gusseisen. Die Magneteisenkerne sind entweder zwischen die beiden Joche verschraubt oder in dieselben eingesetzt und

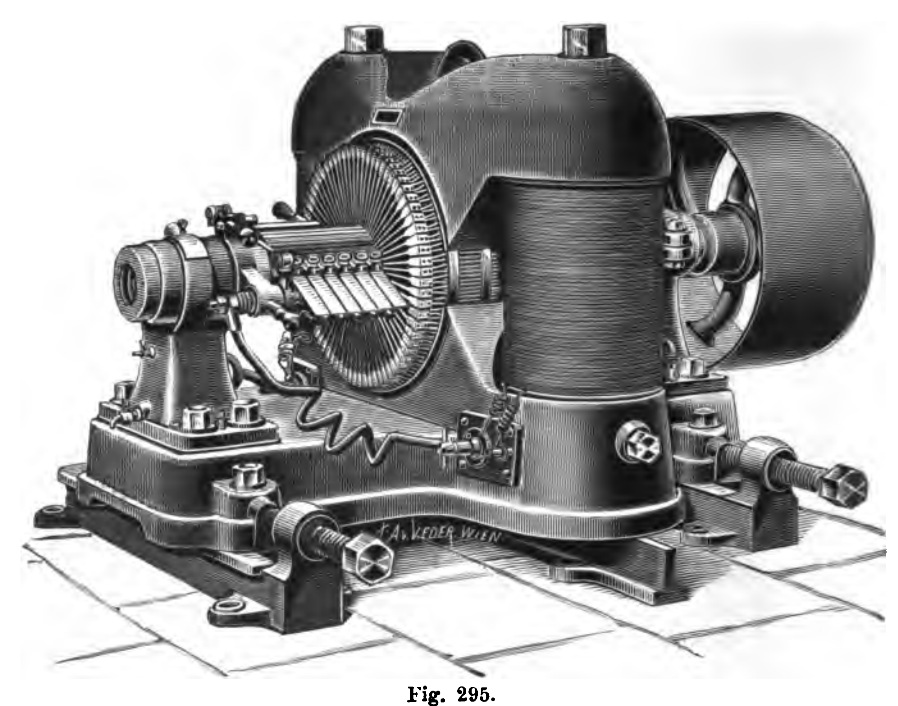


Fig. 295.
Manchestermaschine der Österr. Schuckertwerke vorm. Kremenezky, Mayer & Co.

verschraubt. Das perspektivische Bild, Fig. 295, zeigt auf dem oberen Joche 2 Schrauben; dieselben dienen, sowie die seitlich an dem unteren Joche ersichtliche Schraube, zur Befestigung des Magneteisenkernes in dem Magnetkörper. Das untere Joch sammt dem Polschuh, der Lagerplatte und den Lagerständern bestehen aus einem Gussstücke. Der magnetische Widerstand der 4 Trennungsflächen zwischen den Eisenkernen und Jochen ist durch genaues Auftouchieren derselben auf einen kleinsten Wert herabgesetzt. Die zumeist glatten Grammeringe sind mit Kupferdrähten oder, für größere Leistungen, mit vierkantigen Kupferstäben bewickelt. Die Lager sind mit Ringschmierung versehen. Die Maschinen werden in den verschiedensten Größen von 2000 bis 75000 Watt bei 2000 bis 500 Umdrehungen in der Minute in den verschiedensten Schaltungen für Beleuchtung und Kraftübertragung ausgeführt. Auf die mechanische Ausführung und auf die Ausstattung der Maschinen ist die größte Sorgfalt verwendet.

Die folgenden Angaben über eine 25 Kilowattmaschine verdanke ich einer freundlichen Mittheilung der obigen Firma.

25 Kilowatt, größte Leistung,

220 Ampère, größte Stromstärke,

115 Volt, Klemmenspannung,
560 Umdrehungen in der Minute,
4 Ampère, Magnetstrom,
500 *mm*, äußerer Durchmesser des Ankereisens,
290 *mm*, innerer Durchmesser des Ankereisens,
36000 mm^2, Querschnitt des Ankers,
10700 *C G S* Einheiten, Sättiguugsgrad im Ankereisen,
2·75 Ampère für 1 mm^2, Beanspruchung des Ankerdrahtes,
860 Watt, Energieverlust in den Kupferdrähten des Ankers,
240 *mm*, Durchmesser des Magneteisens,
430 *mm*, Länge des Magneteisens,
523 *mm*, Durchmesser der Bohrung,
8200 *C G S* Einheiten, Sättigungsgrad im Magneteisen,
1·57 Ampère für 1 mm^2, Beanspruchung des Magnetdrahtes,
178 *kg*, Gesammtgewicht des Kupferdrahtes,
362 Watt, Leistung für 1 *kg* des Ankerkupfers,
140·4 Watt, Leistung für 1 *kg* des Gesammtkupfergewichtes,
10 Watt, Leistung für 1 *kg* des Gesammtgewichtes,
675 Watt, für 1 effektive Pferdekraft,
17600 Ampèrewindungen auf dem Anker,
19800 Ampèrewindungen auf den Magneten,
34° C., Erwärmung des Ankers über die Temperatur der Umgebung bei Dauerleistung,
28° C., Erwärmung der Magnete über die Temperatur der Umgebung bei Dauerleistung,
2500 *kg*, Gesammtgewicht der Maschine,
95%, Elektrischer Wirkungsgrad,
91·7% Mechanischer Wirkungsgrad,
170 *mm*, Durchmesser des Kollektors,
220 *mm*, Länge des Kollektors,
4 Stück, Anzahl der nebeneinanderliegenden Bürsten,
6 5 × 30 *mm*, Bürstenauflagefläche für 1 Bürste,
2½" engl., Durchmesser der Welle im Riemenscheibenlager,
2½" engl., Durchmesser der Welle im Kollektorlager.

Diese Maschine war in Frankfurt a./M. (1891) ausgestellt. Der glatte Grammering derselben ist musterhaft aufgebaut. Die Kollektorlamellen bestehen aus gezogenem Kupfer. Die Bürsten sind zumeist aus Messingblechen zusammengesetzt oder aus Kupfer geflochten. Bei sämmtlichen Maschinen dieser Firma findet Schlepp-Ringschmierung Verwendung.

239. Z-Motoren der Vereinigten Elektricitäts-Aktiengesellschaft vorm. B. Egger & Co. Die Motoren der Type Z, Fig. 296 und 297, sind zweipolige, aus zwei Theilen (Stahlguss) hergestellte Maschinen. Der obere Theil mit dem einen Pol als Ansatz ist als Deckel ausgebildet und durch Schrauben mit dem Untergestell verbunden. Die Trennungsflächen sind sorgfältig bearbeitet und auf einander gepasst, so dass sie praktisch keinen magnetischen Widerstand darbieten.

Der Ankerkern ist mit ausgestanzten, nach oben verengten Nuten

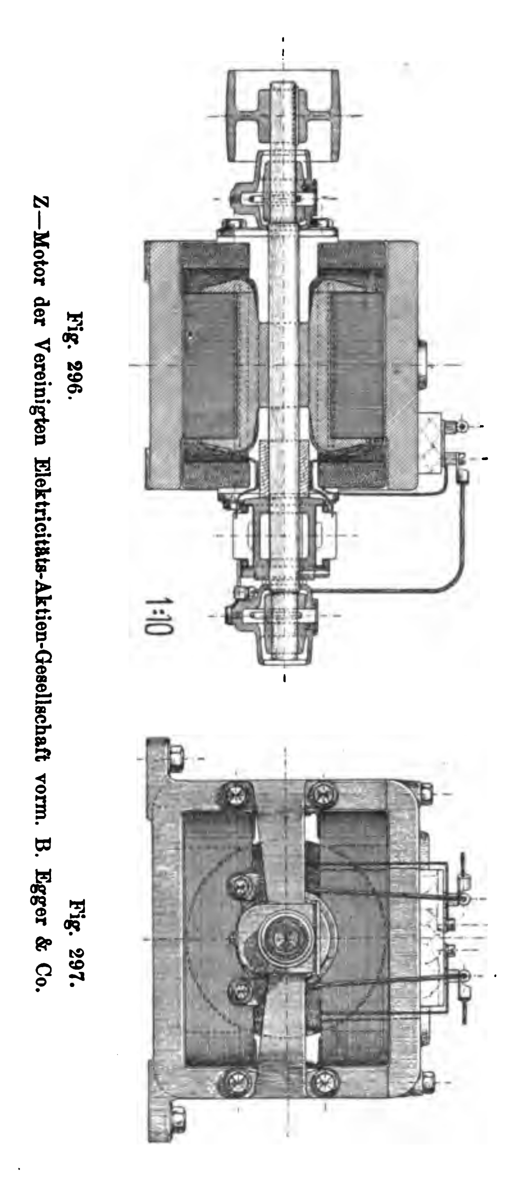


Fig. 296. Fig. 297.
Z—Motor der Vereinigten Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. B. Egger & Co.

versehen, welche durch einen starken Fibrekeil verschlossen werden, sobald die Wickelung darin liegt, so dass die Drähte vollkommen fest und sicher liegen. Die Maschinen sind als Nebenschlussmaschinen gewickelt. Die Motoren besitzen infolge ihrer eigenartigen Konstruktion eine bedeutende Abzugskraft, so dass sie sich besonders für Aufzüge, Krahne und überhaupt dort, wo die Arbeitsmaschinen bei Vollbelastung anlaufen müssen, eignen. Die Maschinen werden auch in Kapselform ausgeführt; in dieser Art sind sie von einem Gehäuse eingeschlossen, so dass nur der Kommutator durch einen aufklappbaren Deckel zugänglich erscheint.

240. M-Maschinen der Vereinigten Elektricitäts-Aktiengesellschaft vorm. B. Egger & Co., Fig. 298 und 299. Die M-Typen sind durchwegs mehrpolige aus einem Stück bestehende Stahlgussmaschinen. Bis zu 80 Kilowatt werden dieselben vierpolig, von da ab mit sechs oder mehr Polen ausgeführt.

Die Polschuhe sind aus Gusseisen hergestellt und erhalten, um einen allmählichen Übergang des Feldes zu erzielen, eine parallelogrammförmige Gestalt, sie sind durch eine Schraube an die Magnetschenkel angeschraubt.

Die Nutanker sind trommelförmig mit glimmerisolierten Kupfer-

stäben gewickelt, und zwar liegt durchwegs ein Stab in einer Nut, so dass die Wickelung sich zu einer möglichst einfachen gestaltet. Die Enden der Ankerstäbe führen durch einen starken Verbinder zum Kommutator, dessen Lamellen aus Hartkupfer bestehen.

Bis zu 150 Volt ist der Anker in Parallelschaltung ausgeführt, darüber hinaus in Serienschaltung.

Die Maschinen bis 150 Volt besitzen zwei Lamellenringe, von denen der Strom durch Schleifkontakte abgenommen wird, daher die bei Verschiebungen der Bürstenbrücke lästigen flexiblen Kabel durch diese Konstruktion entfallen. Die Bürsten können gemein schaftlich verschoben oder ganz abgehoben werden.

Normal werden die Maschinen mit Nebenschlusswickelung versehen. Als Kompoundmaschinen eignen sich dieselben auch besonders für Bahnbetrieb. Der Wirkungsgrad be-

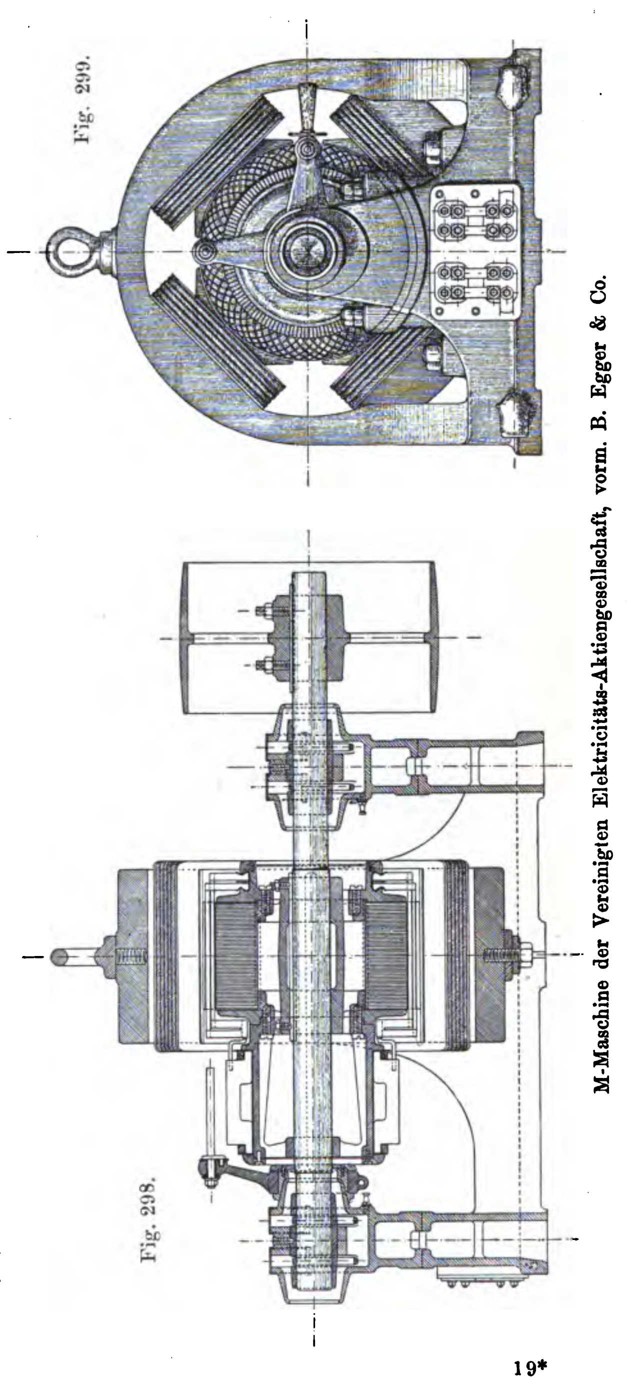


Fig. 299.

Fig. 298.

M-Maschine der Vereinigten Elektricitäts-Aktiengesellschaft, vorm. B. Egger & Co.

trägt je nach der Größe zwischen 92 bis 95%. Wegen der sehr niedrig gelegenen Welle sind diese Dynamos in den größeren Ausführungen für direkte Kuppelungen mit der Dampfmaschine besonders geeignet.

241. Berechnung der M- und Z-Maschinen der Vereinigten Elektricitäts-Aktiengesellschaft.

Berechnung einer M-Maschine.

Für 60 Kilowatt bei 110 Volt und 350 Tonnen pro Minute.

Der vierpolige Polring ist aus Stahlguss hergestellt und mit Nebenschlussspulen versehen. Der Anker besitzt Trommelparallelwickelung. Vier Bürstenstifte.

Ankerdurchmesser 610 *mm*,
Ankerbreite 300 „
Bohrung 620 „

206 Nuten von 4 *mm* Breite und 25 *mm* Tiefe,
pro Nute 1 Stab von 2·5 × 21 *mm*² *Cu* (Kupfer).

Induktion in dem Luftraum = 9400 *C G S*,
„ „ den Polschuhen = 9500 „
„ „ den Polschenkeln = 12500 „
„ „ dem Joch = 14300 „
„ „ den Zähnen = 18000 „
„ „ dem Anker = 14300 „
ergibt 10036 Ampèrewindungen.

Ampèregegenwindungen 2200,
Ampèrewindungen für die Streuung 200,
Gesammte erforderliche Ampèrewindungen ∾ 12500.

Pro Feldspule 580 Windungen mit 3·1 *mm* Durchmesser *Cu*.

Elektrischer Nutzeffect = 96%,
Mechanischer Nutzeffect = 94%.

Ankerkupfergewicht = 94 *kg*,
Feldkupfergewicht = 245 *kg*,
Gewicht der ganzen Maschine = 3200 *kg*.

Berechnung einer Z-Maschine.

Für 2 *H. P.* bei 440 Volt und 600 Tonnen pro Minute.

Polgehäuse, zweipolig, aus Stahlguss hergestellt und mit Nebenschlussspulen versehen. Anker mit Ringwickelung.

Ankerdurchmesser 265 *mm*,
Ankerbreite 190 „
Ankerbohrung 270 „

50 Nuten von 10 *mm* Breite und 17 *mm* Tiefe,
pro Nut 28 Drähte von 1·1 *mm* Durchmesser *Cu*.

Induktion im Luftraum = 7000 *C G S*,
„ in den Magnetschenkeln = 13500 „
„ „ dem Joch = 13500 „
„ „ den Zähnen = 16500 „
„ „ dem Anker = 18000 „

Gesammte erforderliche Ampèrewindungen 5200.

Pro Feldspule 4400 Windungen von 0·45 *mm* Durchmesser *Cu*.

Elektrischer Nutzeffekt = $90^0/_0$,
Mechanischer Nutzeffekt = $85^0/_0$.

Ankerkupfergewicht = 7·3 *kg*,
Feldkupfergewicht = 14·5 *kg*,
Gewicht der ganzen Maschine = 360 *kg*.



Fig. 300. Sechspolige Dynamo der Vereinigten Elektricitäts-Aktiengesellschaft vorm. B. Egger & Co.

242. Die sechspolige Maschine der Vereinigten Elektricitäts-Aktiengesellschaft vorm. B. Egger & Co., Fig. 300. Der Gusskörper dieser Maschine besteht aus zwei Theilen. Einen Theil bildet der Magnetkörper, den zweiten die Grundplatte mit den Lagerständern. Diese beiden Theile sind mit einander verschraubt. Die sechs Magnetkerne haben einen rechteckigen Querschnitt. Die gesammten Eisenquerschnitte sind reichlich bemessen, so dass die Streuung der Kraftlinien einen ge-

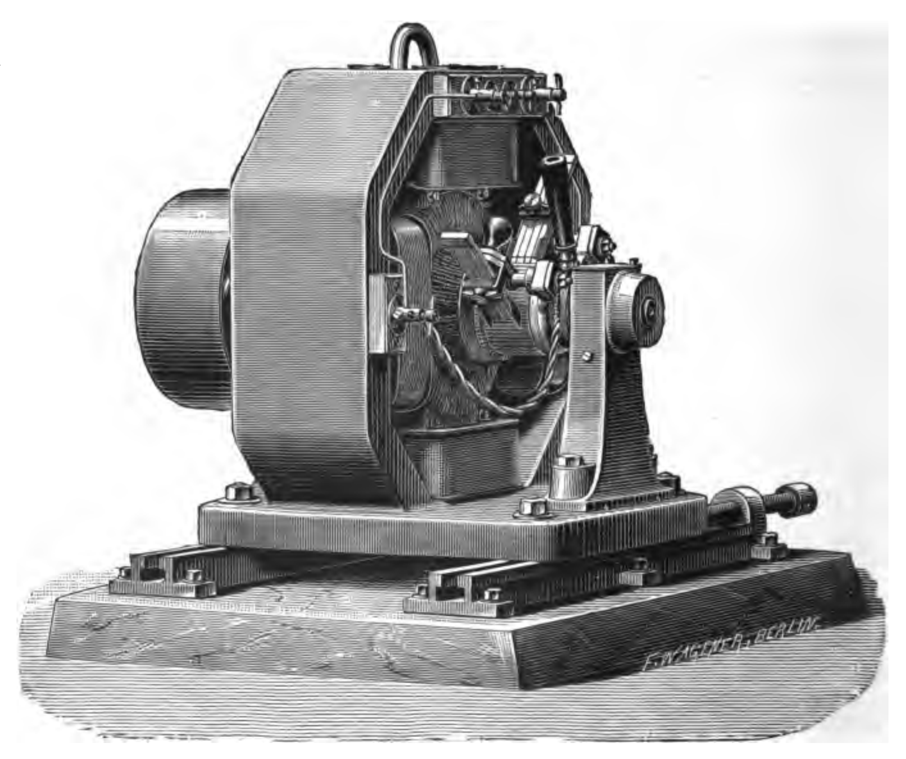


Fig. 301. Vierpolige Dynamo der Berliner Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. L. Schwartzkopff.

ringsten Wert erreicht. Der Grammering besteht aus einfachen oder mehrfachen, wohl isolierten Kupferdrähten. Der Kollektor, Fig. 157, ist aus Kupfertheilen auf einer hohlen Büchse aufgebaut. Der Ring hat eine vorzügliche Lüftung, so dass die einzelnen Windungen mit vier und mehr Ampère für 1 mm^2 beansprucht werden können. Zu dieser Lüftung trägt auch der verhältnismäßig große, hohle Kollektor bei. Der Bürstenapparat besteht aus einem sechstheiligen Bürstenhebel; auf den sechs Bürstenstiften sind die Bürstenhalter drehbar, untereinander isoliert verbunden, angebracht.

Nach Lösung der in Fig. 300 ersichtlichen Flügelschraube kann man durch den daneben angebrachten Griff sämmtliche Bürsten gleichzeitig auflegen, abheben und verstellen.

Die Bürstenkonstruktion ermöglicht weiters ein Verstellen und Auswechseln der einzelnen Bürsten. Die Maschine arbeitet vollkommen funkenlos und besitzt ein so starkes magnetisches Feld, dass Belastungsänderungen von zehn und mehr Procent der normalen Leistung, bei reiner Nebenschlussschaltung, eine kaum merkliche Spannungsänderung hervorbringt. Eine doppelseitige Riemenspannvorrichtung ermöglicht ein sicheres Nachspannen des Riemens auch während des Betriebes. Diese Maschinen wurden zuerst von mir für Leistungen über 25000 Watt berechnet.

243. Die vierpolige Maschine der Berliner Maschinenbau-Aktiengesellschaft (vorm. L. Schwartzkopff), Fig. 301.

Grundplatte und Magnetkörper bestehen aus einem Gussstücke. Die Lagerständer erscheinen mit der Grundplatte verschraubt. Der Grammering ist mit Nuten versehen. Die gegenüberliegenden Ringabtheilungen werden miteinander verbunden, so dass wie man in der Zeichnung erkennt, nur zwei Bürsten erforderlich sind. Bei den großen Maschinen jedoch ist die Anzahl der Bürsten (beziehungsweise vielfachen Bürsten) gleich der Anzahl der Pole.

Die Bürstenhalter sind gemeinsam verstellbar und können bei den großen Maschinen auf beiden Seiten mittels eines Handrades gedreht werden.

244. Die Wechselstrommaschine der Firma Ganz & Co. in Budapest. Die neueste Konstruktion dieser Firma, Fig. 302 und 303, wird in 7 verschiedenen Größen mit den Leistungen von 10000 bis 400000 Watt bei 830 bis 125 Umdrehungen in der Minute ausgeführt. Die Maschinen von 80000 Watt aufwärts haben direkten Antrieb. Sämmtliche Maschinen arbeiten mit einer Polwechselzahl von 5000 in der Minute, die höchste Spannung beträgt 5000 Volt, die geringste Polzahl 4, die größte 40. In den Fig. 302 und 303 ist eine kleinere Maschine im Längs- und Querschnitte, mit theilweisen vorderen Ansichten, wiedergegeben. Sämmtliche Maschinen haben im Wesentlichen dieselbe Einrichtung.

Hier soll die Maschine mit der größten Leistung Type A_8 (400000 Watt bei 125 Umdrehungen) beschrieben werden. Diese Maschine besteht aus einem Magnetrade, das gleichzeitig als Schwungrad der Dampfmaschine dient. Durch Umdrehung des Magnetrades innerhalb

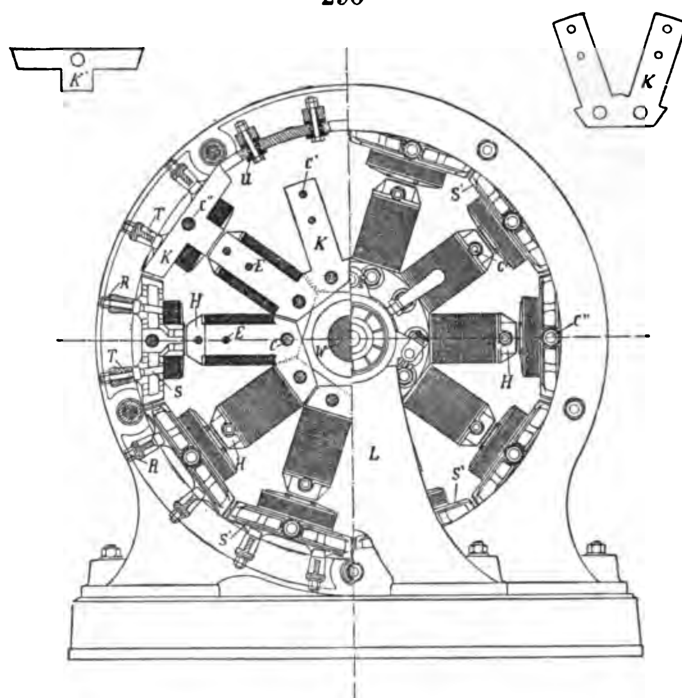


Fig. 302.

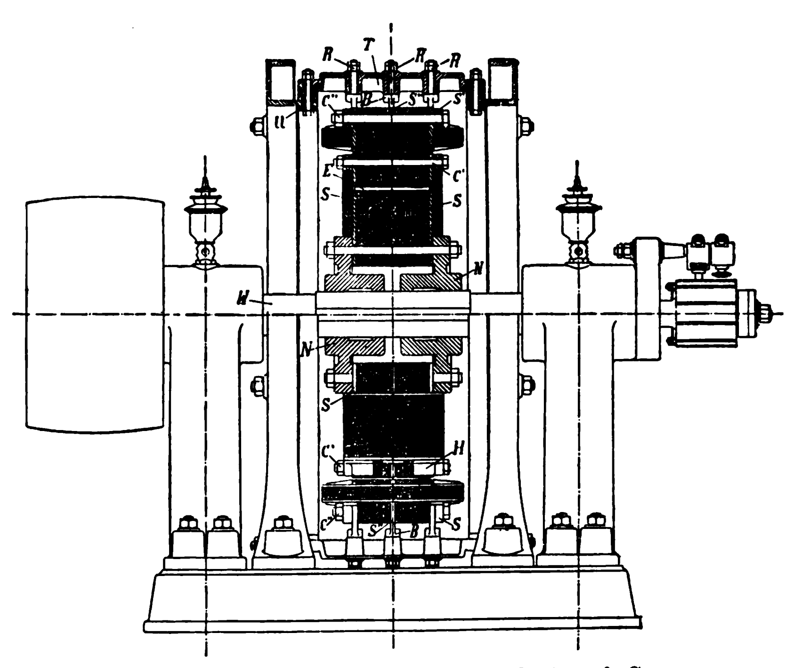


Fig. 303. Wechselstrommaschine nach Ganz & Co.

eines Spulenkranzes (Ankers) wird im letzteren Wechselstrom induciert. Das Magnetrad besteht aus 40 Magneten, der Anker aus 40 Spulen. Das Magnetrad ist aus V-förmigen weichsten Eisenblechen *K* zusammengesetzt. Die V-förmigen Bleche werden so nebeneinander angeordnet, dass ein Stern entsteht.

Auf den ersten Stern werden die folgenden isoliert aufgebaut, so zwar, dass die Fugen des einen Sternes von dem Eisen des anderen überbrückt werden. Der so entstehende Eisenkern wird nun zwischen zwei Endscheiben mit dem aus 2 Theilen *NN*, Fig. 303 bestehenden Kreuze verschraubt.

Das Kreuz *NN* ist auf die Welle *W* aufgekeilt.

Die Magnetisierungsspulen werden fertig auf die Eisenkerne aufgesetzt und durch den Bolzen c' in dem Halter *H* gesichert. Die Zuführung des Erregerstromes erfolgt durch 2 auf der Welle isoliert befestigte eiserne Gussringe (In der Fig. 303 durch den ersichtlichen Kollektor).

Das Magnetrad steht mittelst zweier Schraubenspindeln, auf 2 Schlitten verschiebbar, so dass durch einfache Handhabung einer Drehvorrichtung die Spulen leicht zugänglich sind. Der Ankerkern wird aus, von einander durch Papier isolierten, T-förmigen Eisenblechen K^1 zusammengesetzt, welche zwischen zwei Endscheiben S^1 und eine mittlere Scheibe durch die Schrauben c'' verschraubt sind. Die Endscheiben und die mittlere Scheibe sind mit Verlängerungen *B* versehen, welche von dem Maschinenkörper durch die Tragschrauben *R* getragen werden, so dass jeder Eisenkern an 2 Traversen *T*, welche bei *u* isoliert an den Maschinenkörper befestigt sind, verschraubt ist. Durch diese Montage wird es ermöglicht, jeden Elektromagnet des Ankers für sich zu untersuchen oder auszuwechseln.

Ein Schluss zwischen einzelnen Ankerspulen, der nur durch den Maschinenkörper erfolgen kann, erscheint ausgeschlossen, da die einzelnen Spulen von dem Maschinenkörper bei *u* wohl isoliert sind.

Ebenso leicht wie die Theile des Ankers können die Magnetspulen demontiert werden. Zu diesem Zwecke wird irgend ein Elektromagnet des Ankers herausgenommen und das Magnetrad so lange gedreht, bis die betreffende Magnetspule desselben unterhalb der entstandenen Öffnung steht.

Durch das Lösen des Bolzens C^1 kann dann die Magnetspule mit dem Halter *H* abgehoben werden. Von den 40 Ankerspulen sind je 20 hintereinander und die so hintereinander geschalteten Spulen parallel geschaltet. Die Armaturdrähte sind mehrfach mit Baumwolle um-

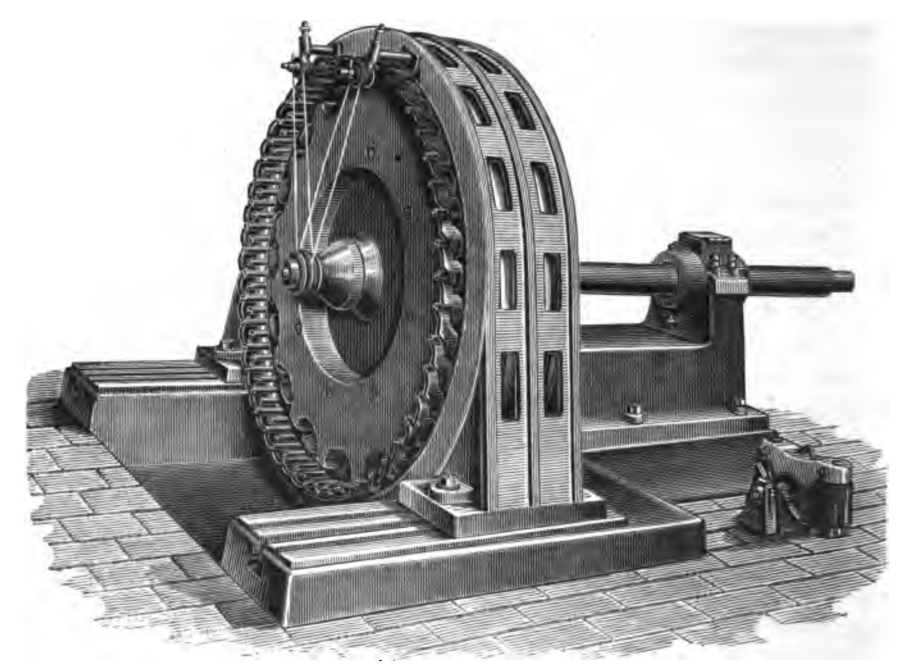


Fig. 304.

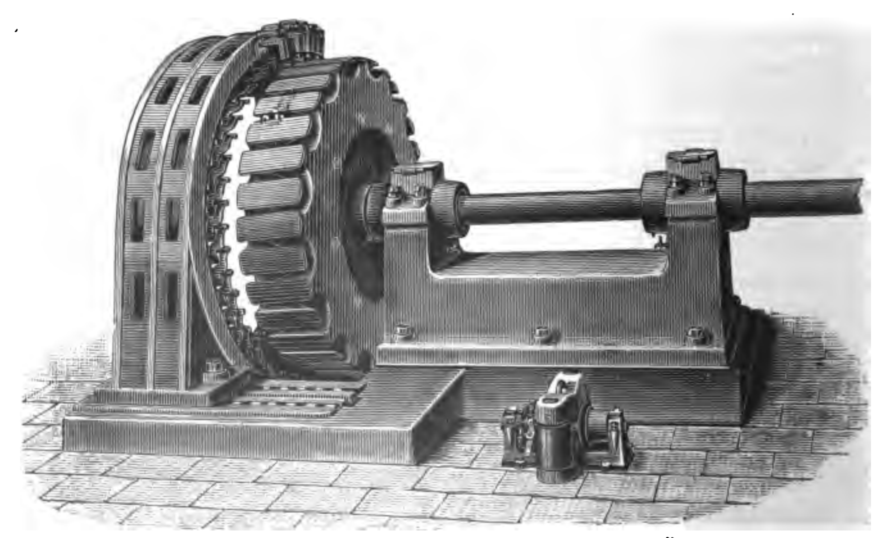


Fig. 305. Drehstrom-Maschine der Maschinenfabrik Örlikon.

sponnen. Da in den bewegten Theilen der Maschine niedere Spannungen herrschen, erscheinen dieselben zur Erzeugung hochgespannter Ströme vorzüglich geeignet.

Die wichtigsten Angaben über die Type A_8 sind im Folgenden zusammengestellt:

3 *m* Durchmesser des Magnetrades,
10000 *kg* Gesammtgewicht der magnetisierten Eisenmasse,
2700 *kg* Gesammtkupfergewicht,
2·8 Ohm Widerstand der Magnetspulen,
0·24 Ohm Widerstand der Ankerspulen,
2·2% Verlust in den Ankerspulen,
64 Ampère Erregerstrom für die normale Leistung,
11400 Watt = 2·9% Erregerverlust,
10 Pferdestärken, mechanischer Leerlauf (berechnet),
30 „ „ mechanischer Leerlauf bei erregten Magneten (berechnet),
90% absoluter Wirkungsgrad (berechnet).

245. Die Drehstrommaschine der Maschinenfabrik Örlikon in Örlikon.[1]) Diese Wechselstrommaschine, welche nach dem Drehstromsysteme der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft in Berlin von der Maschinenfabrik Örlikon, zum Zwecke einer Kraftübertragung von Lauffen nach Frankfurt a./M. auf eine Entfernung von 175 *km* gebaut wurde, gibt in 3 Stromkreisen je 50 Volt bei 1400 Ampère und 150 Umdrehungen. Diese 3 Wechselströme sind je um 120° gegeneinander in der Phase verschoben.



Fig. 306. Theil des Feldmagnetes.

Die Figuren 304 und 305 zeigen diese Maschinen in perspektivischer Ansicht. In Fig. 305 erscheint der Spulenkranz der Magnete zurückgezogen. Der Anker steht fest; sein Durchmesser beträgt außen 189·4 *cm*, innen 176·4 *cm*. Parallel zur Achse gemessen ist der Ringkern 38 *cm* breit. Die Wickelung des Ankers ist aus Stäben von 29 *mm* Durchmesser zusammengesetzt, welche durch Asbeströhren isoliert, durch 96 Öffnungen von 33 *mm* Durchmesser in Abständen von 60 *mm* führen, die am Umfange der Eisenblechscheiben, aus denen der Anker besteht, ausgestanzt sind. Wären die Kupferstäbe auf der Oberfläche des Anker-

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1892, Seite 379 ff.

kernes angeordnet, so müssten in denselben sehr starke Wirbelströme entstehen. Bei der obigen Anordnung zeigten selbst Versuche mit Stäben von 50 *mm* Durchmesser keinen Verlust durch Wirbelströme. Diese Ankerkonstruktion hat den großen Vorzug sehr bedeutender mechanischer Festigkeit. Da Asbest als Isoliermaterial Verwendung fand, so ist der Anker unverbrennlich. Die Verminderung des Luftzwischenraumes zwischen dem Ankerring und den Polflächen des Feldmagnetes (6 *mm*)

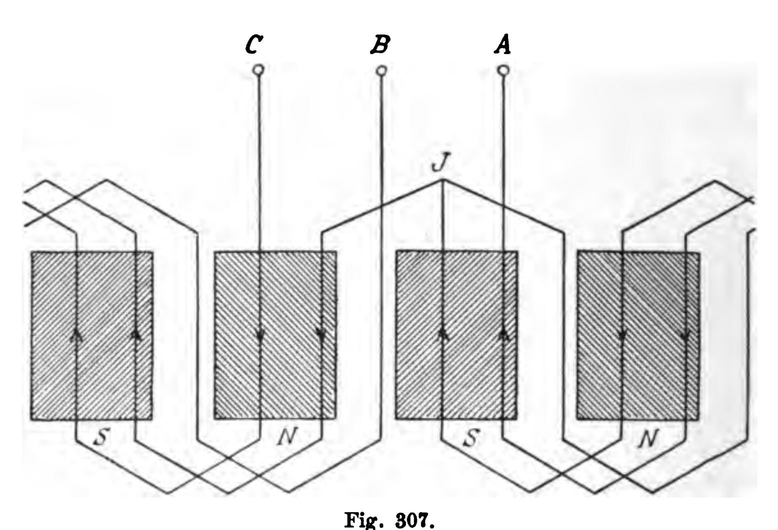


Fig. 307.
Ankerwickelung der Drehstrom-Maschine Fig. 304 und 305 (Sternschaltung).

und die damit verbundene Verkleinerung des magnetischen Widerstandes setzen die Erregungsstromstärke nicht unwesentlich herab. Den 32 Feldmagnetpolen entsprechend, besteht jeder Stromkreis des Ankers aus einem Satz von 32 Kupferbarren, welche durch Querverbindungen hintereinander geschaltet sind. Diese Wickelung (Sternschaltung) stellt Fig. 307 dar.

Satz *A* : 1, 4, 7, 10 . . . . 91, 94,
„ *B* : 95, 92, 89, 86 . . . . 5, 2,
„ *C* : 93, 90, 87, 84 . . . . 3, 96.

J, Fig. 307, bildet den Knotenpunkt, zu welchem die Leiter 94, 2, 96 führen. Die Leiter 1, 95 und 93 sind mit den 3 äußeren Klemmen verbunden. Der Anker ist von einem Gusseisenrahmen umgeben; der letztere steht auf einem Gleitbrette, so dass sich die Maschine leicht auseinander ziehen lässt. Das rotierende Magnetsystem besteht wesentlich aus einer mit einer Nute versehenen eisernen Scheibe. In dieser Nute

Tabelle.

Art des Stromes	—	Gleich-strom	Wechsel-strom	Drehstrom
Art der Pole	—	Außenpole	Flachring	Innenpole
Anzahl der Pole	—	2	14	32
Leistung in	Kilowatt	50	60	200
Stromstärke in	Ampère	400	30	1400 für 1 Leitung
Klemmenspannung in	Volt	125	2000	50 Schenkel-spannung, unverkettet
Umdrehungszahlen in der	Minute	500	500	150
Durchmesser des Ankereisens in	*mm*	515	1200	—
Querschnitt des Ankereisens in	cm^2	470	140	—
Sättigungsgrad im Ankereisen in	*C G S* Einheiten	14000	5000	10600
Beanspruchung des Ankerdrahtes für 1 mm^2 in	Ampère	2·6	4·2	2·2
Energieverlust im Ankerkupfer in	Watt	1320	2025	—
Querschnitt des Magneteisens in	cm^2	615	86	—
Durchmesser der Bohrung in	*mm*	521	—	1764
Sättigungsgrad im Magneteisen in	*C G S* Einheiten	13000	10300	10000
Beanspruchung des Magnetdrahtes 1 mm^2 in	Ampère	1·7	1·3	1·5
Gesammtgewicht des Kupferdrahtes in	*kg*	381	460	944
Leistung für 1 *kg* des Ankerkupfers in	Watt	450	1200	385
Leistung für 1 *kg* des Gesammtkupfer-gewichtes in	Watt	130	130	210
Leistung für 1 *kg* des Gesammtgewichtes in	Watt	15·6	17·6	18·2
Anzahl des Watt für 1 effektive Pferdekraft	Watt	680	600	690
Ampèrewindungen auf den Magneten	Ampère-windungen	3900	2576	496
Ampèrewindungen auf dem Anker	Ampère-windungen	60	1106	96 Drähte
Gesammtgewicht der Maschine in	*kg*	3200	3400	11000
Elektrischer Wirkungsgrad in	%	95	90	95
Mechanischer Wirkungsgrad in	%	92	85	94
Durchmesser des Kollektors in	*mm*	240	—	—
Länge des Kollektors in	*mm*	210	—	—
Anzahl der nebeneinanderliegenden Bürsten	Stück	2	—	—

befindet sich die Wickelung, bestehend aus 496 Windungen von 5 *mm* Kupferdraht. Von den beiden Rändern der Scheiben gehen Polstücke aus, wie dies Fig. 306 erkennen lässt. Die Polarität derselben ist demnach eine von Polstück zu Polstück abwechselnde. Der 32 polige Magnet besteht aus vier Theilen und zwar aus einer eisernen Scheibe, der über derselben liegenden ringförmigen Wickelung und den beiden mit den Polstücken versehenen Seitentheilen. Die Polflächen messen $36 \times 16\ cm^2$. Der Erregungsstrom wird den Feldmagneten durch zwei Metallbänder zugeführt, welche, wie aus der Figur ersichtlich ist, einerseits auf zwei isolierten Ringen, andererseits auf zwei isolierten Scheiben laufen, die mit den Klemmen in Verbindung stehen.

Das ganze Kupfergewicht der Feldmagnete beträgt 300 *kg*. Die Erregung der Maschine erfordert 1250 Watt, also ungefähr 1·6 bis 1·7% der Maximalleistung. Der Verlust durch Stromwärme im Anker beziffert sich bei voller Belastung auf 3500 Watt, der Verlust durch Reibung und Hysteresis beträgt 3600 Watt. Bei offenem Stromkreis genügen 100 Watt für die Magnetisierung ($^1/_{20}$ % der ganzen Leistungsfähigkeit). Unter Berücksichtigung aller Verluste erhält man ein mechanisches Güteverhältnis von 95%. Die Maschine wiegt 4·5 Tonnen. Die Erregung der Drehstrommaschine geschah durch eine in den Fig. 304 und 305 ersichtliche kleine Gleichstromdynamo der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft (Fig. 174), welche durch eine besondere Turbine angetrieben wurde.

Diese Maschinen finden gegenwärtig für das Elektricitätswerk in Heilbronn praktische Verwendung.

Die in der vorstehenden Tabelle zusammengestellten Angaben über Gleich-, Wechsel- und Drehstrommaschinen sind mir von derselben Firma zur Verfügung gestellt worden.

Die Typen der in der Tabelle angeführten Maschinen sind aus den Figuren Fig. 174, Seite 166 (Gleichstrom), Fig. 181, Seite 170 (Wechselstrom) und aus den Figuren 304 und 305 (Drehstrom) ersichtlich.

246. Induktortype der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft und der Maschinenfabrik Örlikon, Fig. 308 bis 315. Der drehende Theil dieser Ein- und Mehrphasen-Wechselstrom-Maschinen enthält keinerlei stromführende Organe (Drahtwindungen, Isolationen, Kollektoren, Schleifringe). Da der drehende Theil einer Dynamo am ehesten schadhaft werden kann, erscheint dieses System besonders vortheilhaft und eignet sich vorzüglich zum Antrieb vermittelst Zahnräder. Alle Wickelungen sowohl für hochgespannten als auch für niedrig gespannten Strom ruhen in dem stillstehenden Theil der Maschine. Die Spulen, in

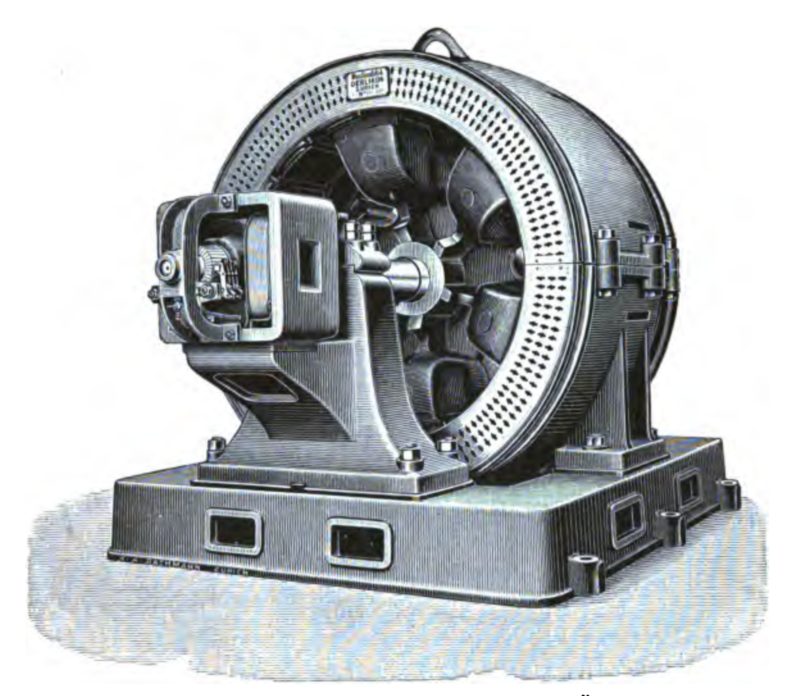


Fig. 308. Induktortype zu 100 *P. S.* nach Örlikon.



Fig. 309. Läufer der Induktortype zu 100 *P. S.* nach Örlikon.

denen der erzeugte Arbeitsstrom fließt, sind auf eine eigene Art mit Glimmer, dem besten bekannten unorganischen Isolator, isoliert und in zwei Kränzen angeordnet. Sie liegen in Vertiefungen der beiden lamellierten ringförmigen Eisenkörper, die ihrerseits in den äußeren, glatten

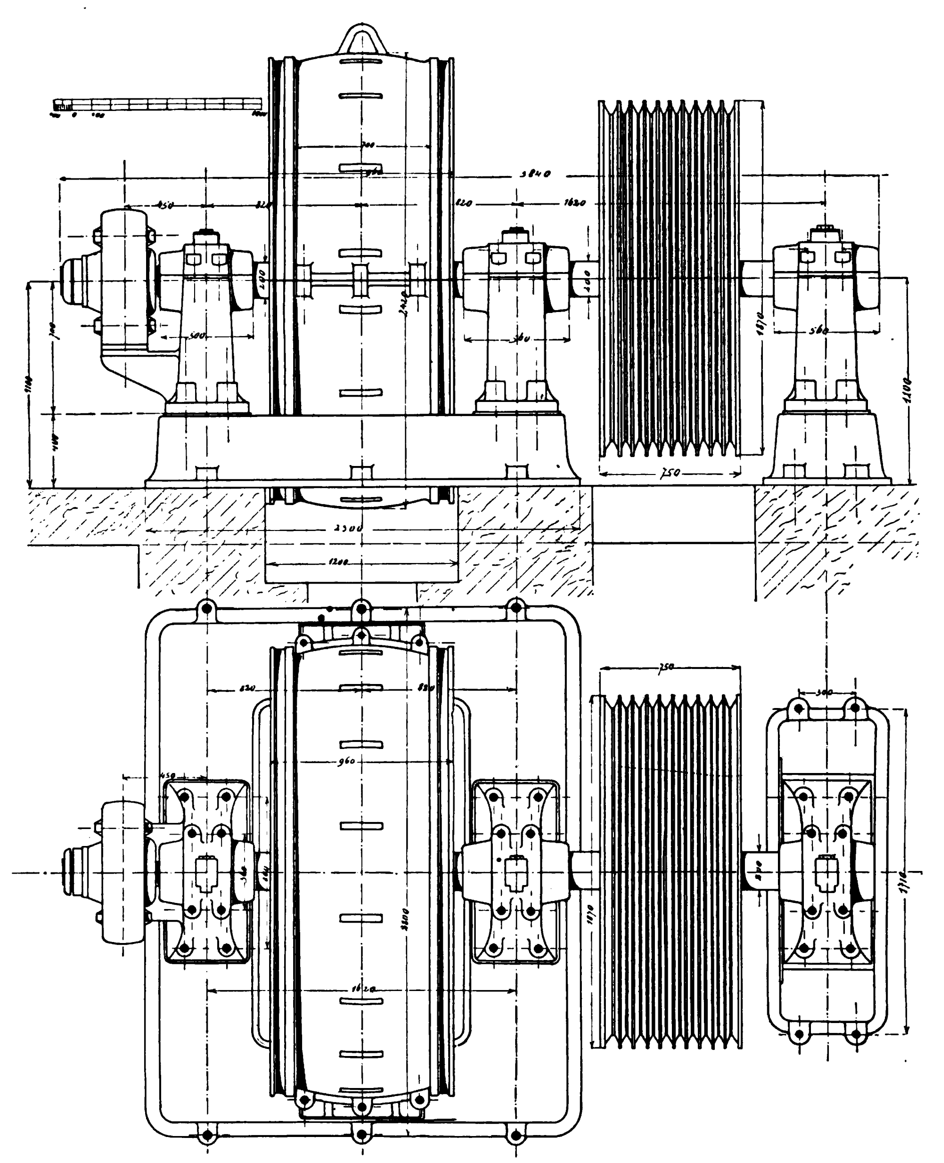


Fig. 310. Induktortype zu 100 *P. S.* nach Örlikon (Grund- und Aufriss).

cylindrischen Stahlmantel passen. Diese Vertiefungen oder Nuten sind nahezu oder ganz geschlossen, so dass der äußere lamellierte Eisenkörper den Zacken des rotierenden Theiles (Läufers) eine fast ununterbrochene Oberfläche darbietet; die Maschinen arbeiten daher fast geräuschlos. —

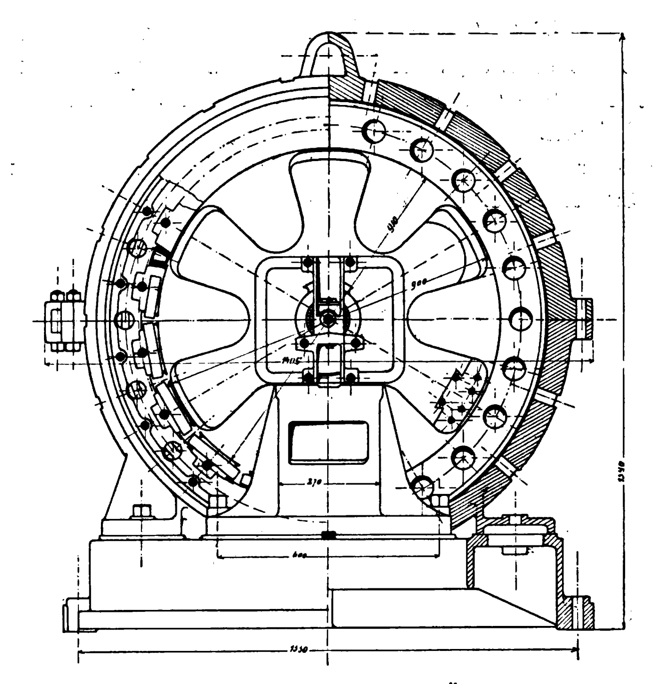


Fig. 311. Induktortype zu 100 *P. S.* nach Örlikon (Kreuzriss).

Zwischen den beiden Kränzen, in welchen sich die oben erwähnten Spulen befinden, erst die kreisförmige Magnetspule, die von einer direkt mit der Maschine gekuppelten oder besonders aufgestellten kleinen Gleichstrommaschine (Erregermaschine) niedrig gespannten Strom (etwa 50 Volt) erhält. Die Enden der hochgespannten Wickelungen führen zu den feststehenden Nebenschlussklemmen am unteren Theile des Maschinengehäuses, wo sie nur für Sachkundige zugänglich erscheinen. Der drehende Theil (Läufer), Fig. 309, ist ein einfacher oder zusammengesetzter, zahnradförmiger Körper aus Stahl- oder Gusseisen; bei großen Maschinen, Fig. 312 bis 315, wird ein zahnkranzartiger Ring aus Stahlguss auf ein gusseisernes Speichenrad aufgesetzt. Die Wellen der Maschinen sind aus Stahl, die Zapfen gehärtet und geschliffen, die Lager selbstölend (Ölringschmierung). Der Läufer widersteht der doppelten normalen Umdrehungszahl. Das zweitheilige Gehäuse ermöglicht eine sehr einfache Montage der Maschine. Örlikon bauen diese Maschinen bis zu 500 *P. S.* für ein- und mehrphasigen Wechselstrom in 12 Größen und zwar die Wechselstrom-Generatoren für Spannungen von 1000, 2100, 3200, 5200 und 7500 Volt, die Drehstrom-Generatoren für Spannungen von 1900, 3600, 5000, 7500 Volt. Der maximale Spannungsunterschied zwischen Vollbelastung

und Leergang, gleiche Tourenzahl und Erregung vorausgesetzt, beträgt bei Lichtbetrieb etwa 5%, bei Motorenbetrieb etwa 15% der normalen Spannung. An dieser Stelle seien die folgenden beiden Konstruktionen näher beschrieben.

1. Generator zu 100 *P. S.*, Fig. 308 bis 311. Leistung: 200 Volt verkettet, 300 Ampère. Die Wickelung des Ständers befolgt das Schema Fig. 287.

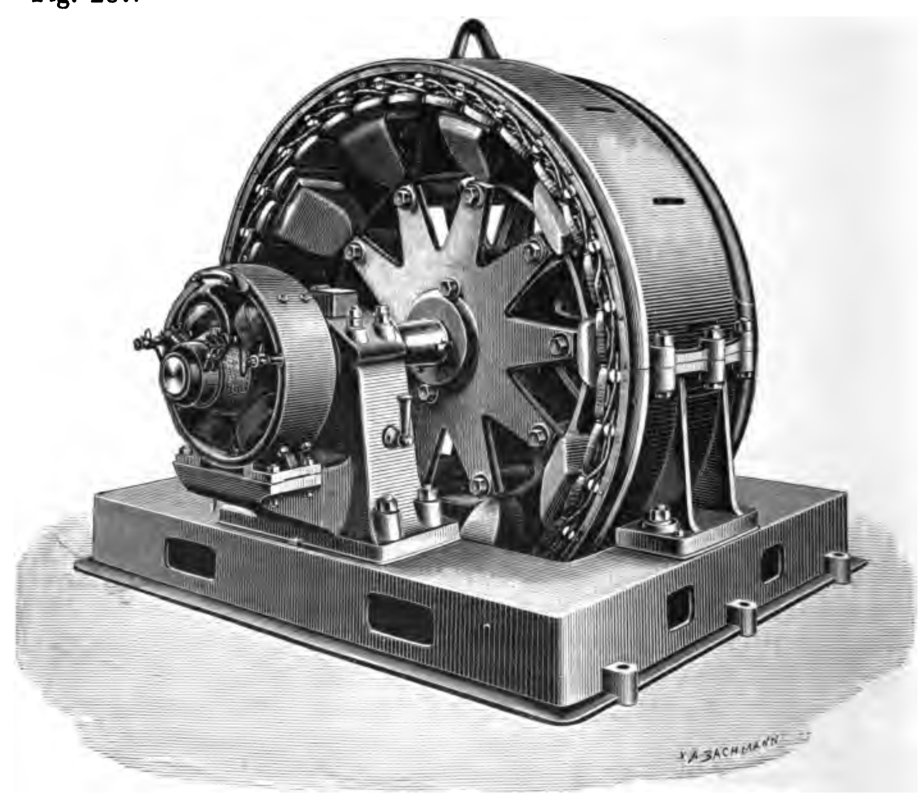


Fig. 312. Induktortype zu 300 *P. S.* nach Örlikon.

Diese Maschine gibt als Wechselstrommaschine 3900 Volt und hat bei 500 Umläufen in der Minute 50 Wechsel. Der Ständer trägt 24 Doppelspulen à 38 Windungen eines 3 *mm* Drahtes (3·6 *mm* besponnen). Der Feldmagnet enthält 546 Windungen eines 4·5 *mm* Drahtes (4·9 besponnen). Der Erregerstrom beträgt bei Vollbelastung 10·5 Ampère bei 90 Volt Klemmenspannung.

Fig. 309 zeigt den Läufer, Fig. 310 den Grund- und Aufriss, Fig. 311 den Kreuzriss dieser Maschine. Der in Fig. 310 wiedergegebene Maßstab gibt auch über die Abmessungen der Fig. 311 Aufschluss.

2. Generator zu 300 *P. S.*, Fig. 312 bis 315. Als Drehstrommaschine leistet diese Type bei 250 Umläufen pro Minute (42 Perioden in der Sekunde) 3000 Volt Phasenspannung. Der Ständer besitzt 30 Spulen (Fig. 314) und zwar je 10 in jeder Phase. Jede Spule besteht aus 36 Windungen eines 3·4 *mm* Drahtes. Das Magnetfeld umfasst 360 Windungen, 5 *mm* Draht. Erregung normal: 50 Volt, 30 Ampère. Die Wickelung des Ständers zeigt das bereits bekannte allgemeine Schema (Fig. 287). Fig. 313 stellt den Grund- und Aufriss, Fig. 314 den Kreuzriss dar. Für alle drei Figuren gilt der in Fig. 313 ersichtliche Maßstab. Die wichtigsten Maße sind außerdem in den einzelnen Figuren ersichtlich. Eine Detailzeichnung veranschaulicht Fig. 315. *E* deutet den Platz für die Erregerwickelungen an. W_1 W_2 W_1 W_2 sind zwei Spulen des Ständers im Schnitt. Um Erhitzung durch Wirbelströme in den Polschuhen des Läufers zu vermeiden, bestehen dieselben aus von einander isolierten Eisenblechen. Die Kraftlinien verlaufen von dem Pole der einen Spule W_1 W_2 durch die Eisenbleche der Polschuhe des Läufers durch den Querschnitt desselben, zu dem zweiten lamellierten Polschuh des Läufers, durch die zweite Spule W_1 W_2, durch das Verbindungsstück der beiden Pole des Ständers zur ersten Spule W_1 W_2 zurück. Die Stromwege durch den Läufer einerseits und Ständer andererseits sind nahezu symmetrisch zu einander. In Fig. 315 ist der Querschnitt des Kraftlinienweges im Ständer nicht auf der ganzen Fläche im Schnitte dargestellt (schraffiert), weil derselbe durch eine in Fig. 313 (Grundriss) ersichtliche Öffnung führt. Der aus Eisenblechen bestehende Kern, auf welchen die Wickelungen W_1 W_2 W_1 W_2 aufgewickelt sind, wird durch einen Reifen aus Gusseisen mittelst durchgehender Bolzen zusammengepresst. Die Spulen selbst erscheinen in Micanitrinnen in den Nuten des Blechkörpers verkeilt. Jede Spule umfasst $^2/_3$ der Poltheilung.

247. Der Drehstrommotor der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft in Berlin, Fig. 316. Der Strom der in § 244 beschriebenen Maschine wurde anlässlich der elektrischen Ausstellung in Frankfurt a./M. zum Theile für den Antrieb dieses Motors verwendet. Der Motor leistet bei 600 Umdrehungen 100 *P. S.*

Er besteht aus zwei ringförmigen Eisenkernen, welche aus, durch Papier von einander isolierten, Blechscheiben zusammengesetzt sind. Beide Ringe sind Locharmaturen. Der äußere Ring (Anker) enthält 138 Stäbe von je 10 *mm* Durchmesser, der innere Feldmagnet 80 Stäbe von je 20 *mm* Durchmesser. Der äußere Ring hat einen Durchmesser von 700 *mm* und ist von einem gusseisernen Gehäuse umgeben.

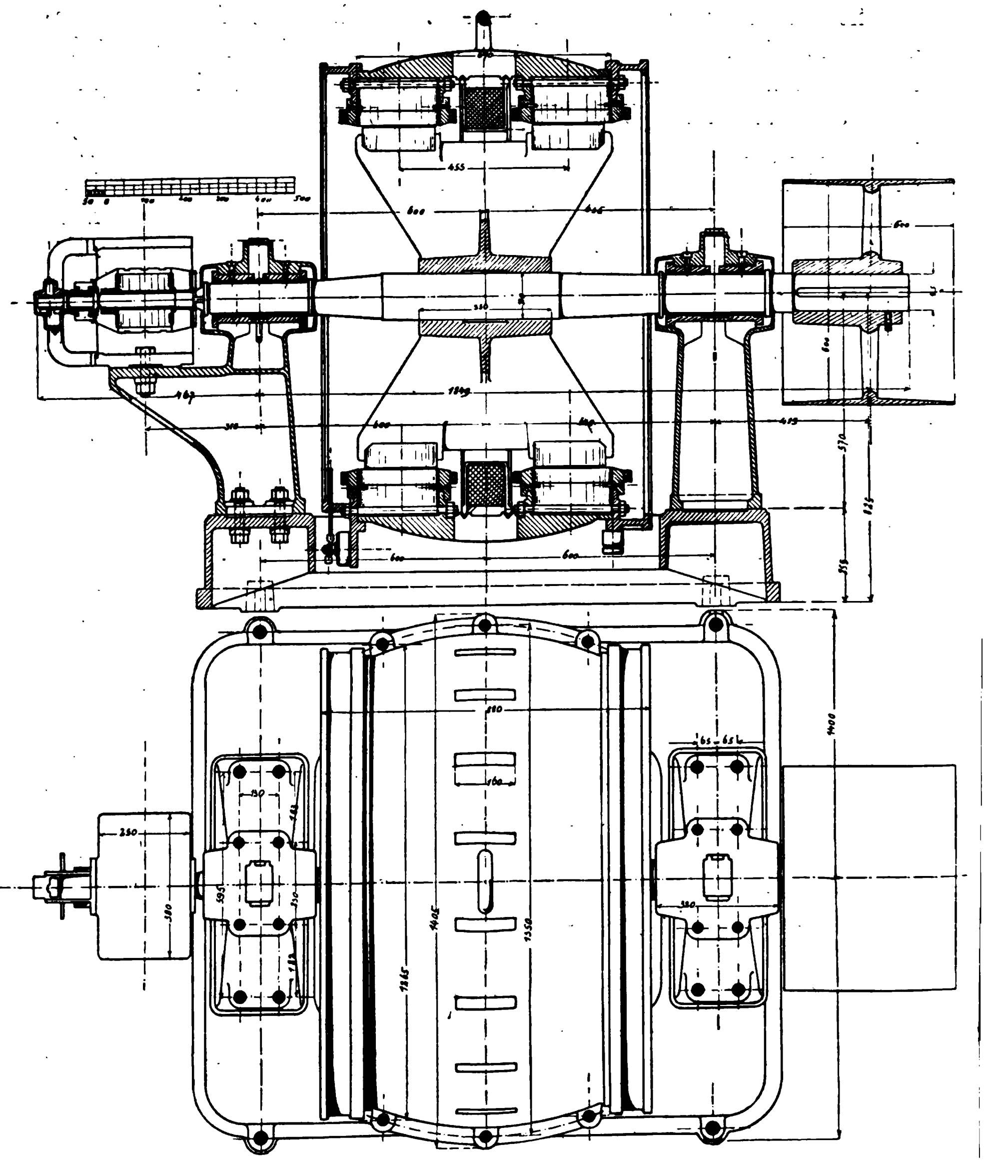


Fig. 313. Induktortype zu 300 P. S. nach Örlikon (Grund- und Aufriss).

Die Anordnung des Versuches der Kraftübertragung Lauffen-Frankfurt (1891) war die folgende: In Lauffen diente ein Wasserfall zum Antriebe der in den Figuren 304 bis 305 dargestellten Dynamo mit einer Leistung von 300 Pferdekräften. Der Strom dieser

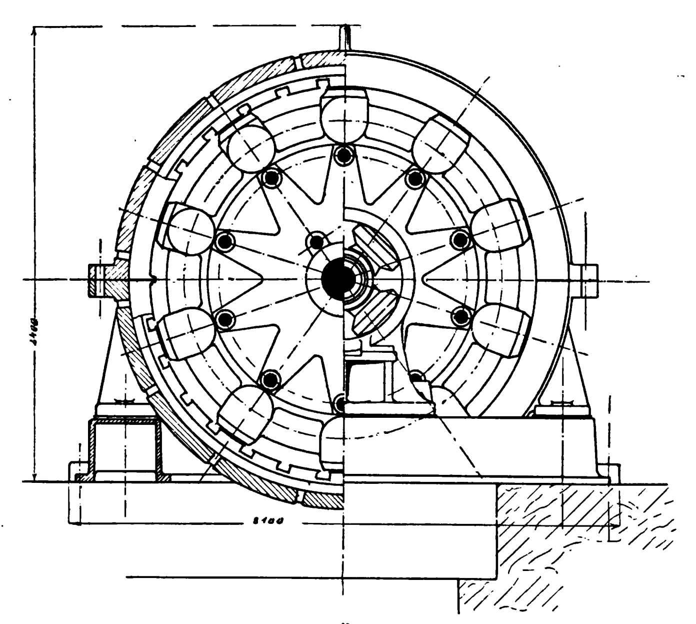


Fig. 314. Induktortype nach Örlikon zu 300 *P. S.* (Kreuzriss).

Dynamo wurde auf eine Entferung von 175 *km* nach Frankfurt durch 3 Drähte von je 4 *mm* Durchmesser auf den Ausstellungsplatz übertragen und besorgte dort den Antrieb des in Figur 316 wiedergegebenen Motors zu 100 Pferdekräften und die Stromlieferung für eine Effektbeleuchtung mittelst Glühlicht. Der Motor war mit einer Centrifugalpumpe direkt gekuppelt, welche das Wasser für einen künstlichen Wasserfall am Ausstellungsplatze beistellte. Durch diese Anordnung erschien somit ein Wasserfall auf eine Entfernung von 175 *km* übertragen. Eine wissenschaftliche Kommission hat die Anlage geprüft, und ein Güteverhältnis von 75% bis zu den primären Klemmen der Transformatoren in Frankfurt festgestellt. Das Ergebnis obiger Versuchsanlage übertraf alle gehegten Erwartungen und gab Veranlassung zur Ausführung definitiver Einrichtungen. Besonders hervorgehoben sei hier die Übertragung von Tausenden der Pferdekräfte des Niagarawasserfalles.

Diese großartigen Erfolge bilden den würdigen Abschluss einer Reihe epochemachender Errungenschaften der modernen elektrotechnischen Wissenschaft, sie verkünden einen vollständigen Sieg der Elektricität über sämmtliche Kräfte der Natur.

248. Neue Drehstrommotoren der Maschinenfabrik Örlikon, Fig. 217 bis 219. Ständer und Läufer bestehen aus Eisenblechen und

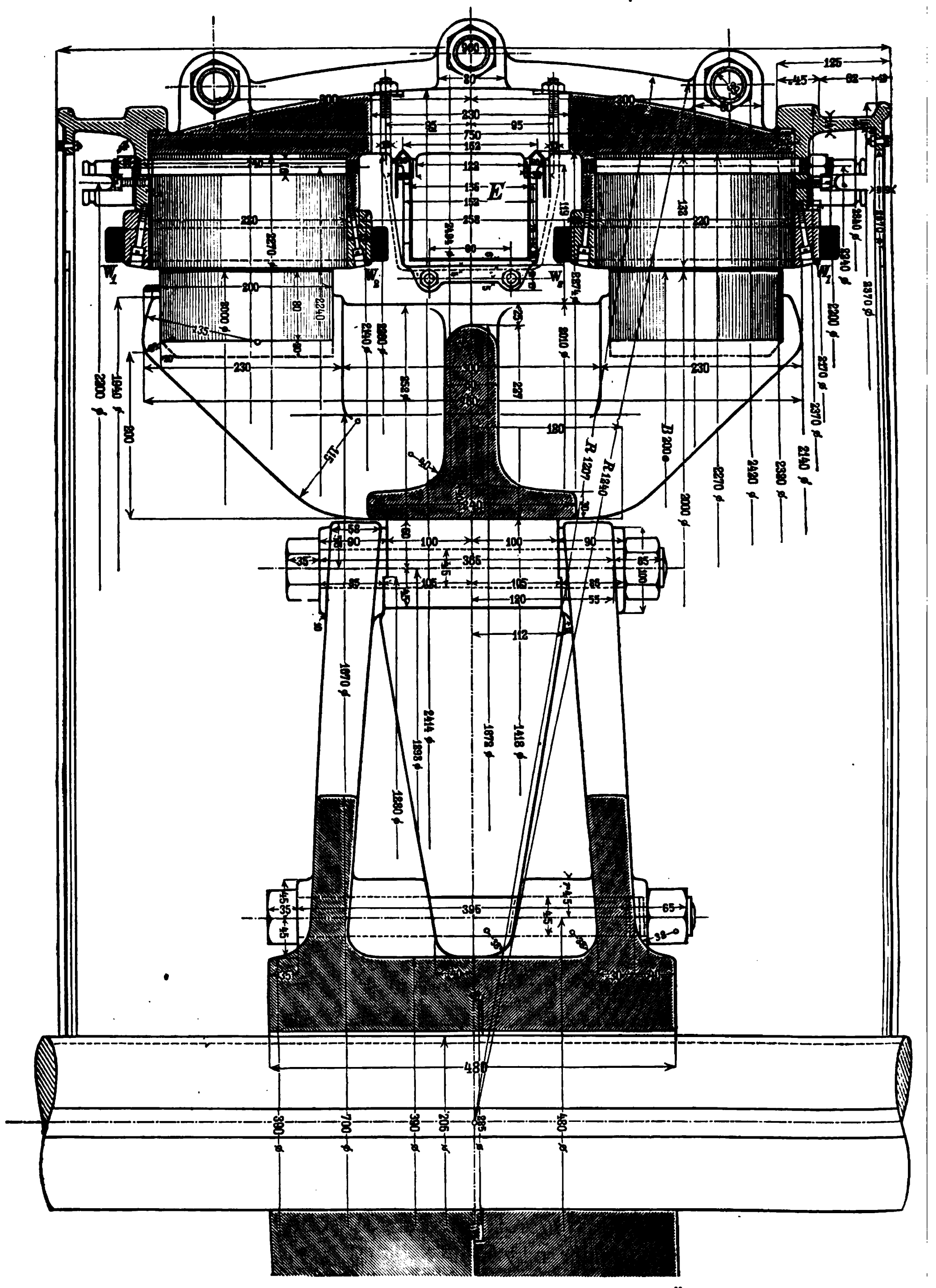


Fig. 315. Detail zur Induktortype zu 300 *P. S.* nach Örlikon.

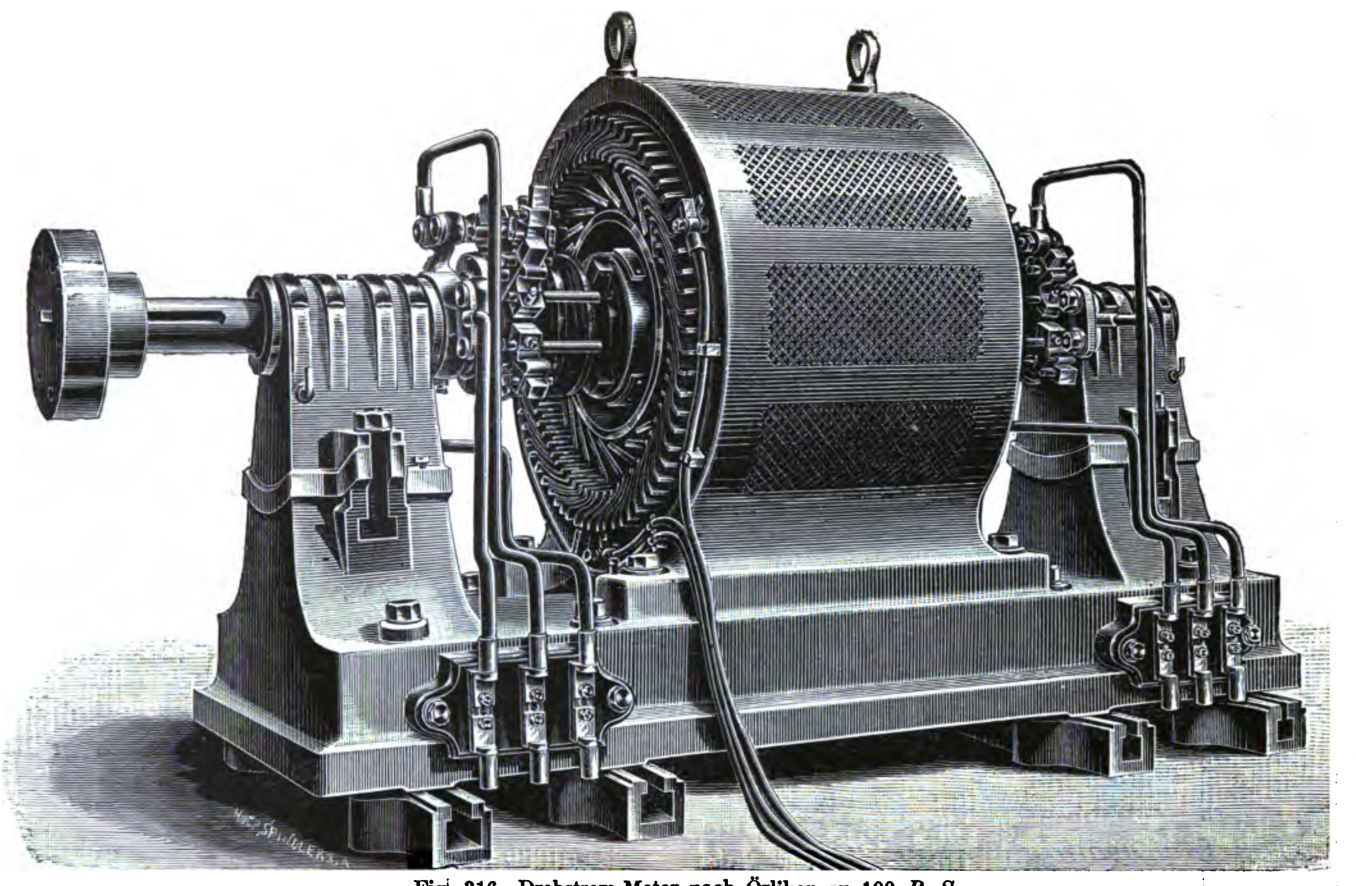


Fig. 316. Drehstrom-Motor nach Örlikon zu 100 *P. S.*

besitzen beide Wickelungen. Der Arbeitsstrom fließt nur im Ständer. Die Motoren gehen unter Belastung an und ertragen augenblickliche Überlastungen von 20%, ohne ihre Geschwindigkeit zu verlieren; der Geschwindigkeitszuwachs zwischen Leerlauf und Vollbelastung beträgt je nach der Größe des Motors 3 bis 5% der normalen Geschwindigkeit.



Fig. 317. Neuer Drehstrommotor ohne Schleifringe zu 36 *P. S.* nach Örlikon.

Der Gang ist geräuschlos, der Wirkungsgrad mindestens ebenso groß, wie derjenige der besten Gleichstrommotoren gleicher Leistung. Die Maschinenfabrik Örlikon baut Nieder- und Hoch-Spannungs-Motoren. Die ersteren bedürfen eines zugeschalteten Transformators, während die letzteren direkt an das primäre Vertheilungsnetz angeschlossen werden können. Die Fig. 217 bis 219 stellen den Drehstrommotor ohne Schleifringe zu 36 *P. S.* vor. Die Konstruktion und die Abmessungen sind aus diesen Figuren ersichtlich. Die verkettete Spannung beträgt

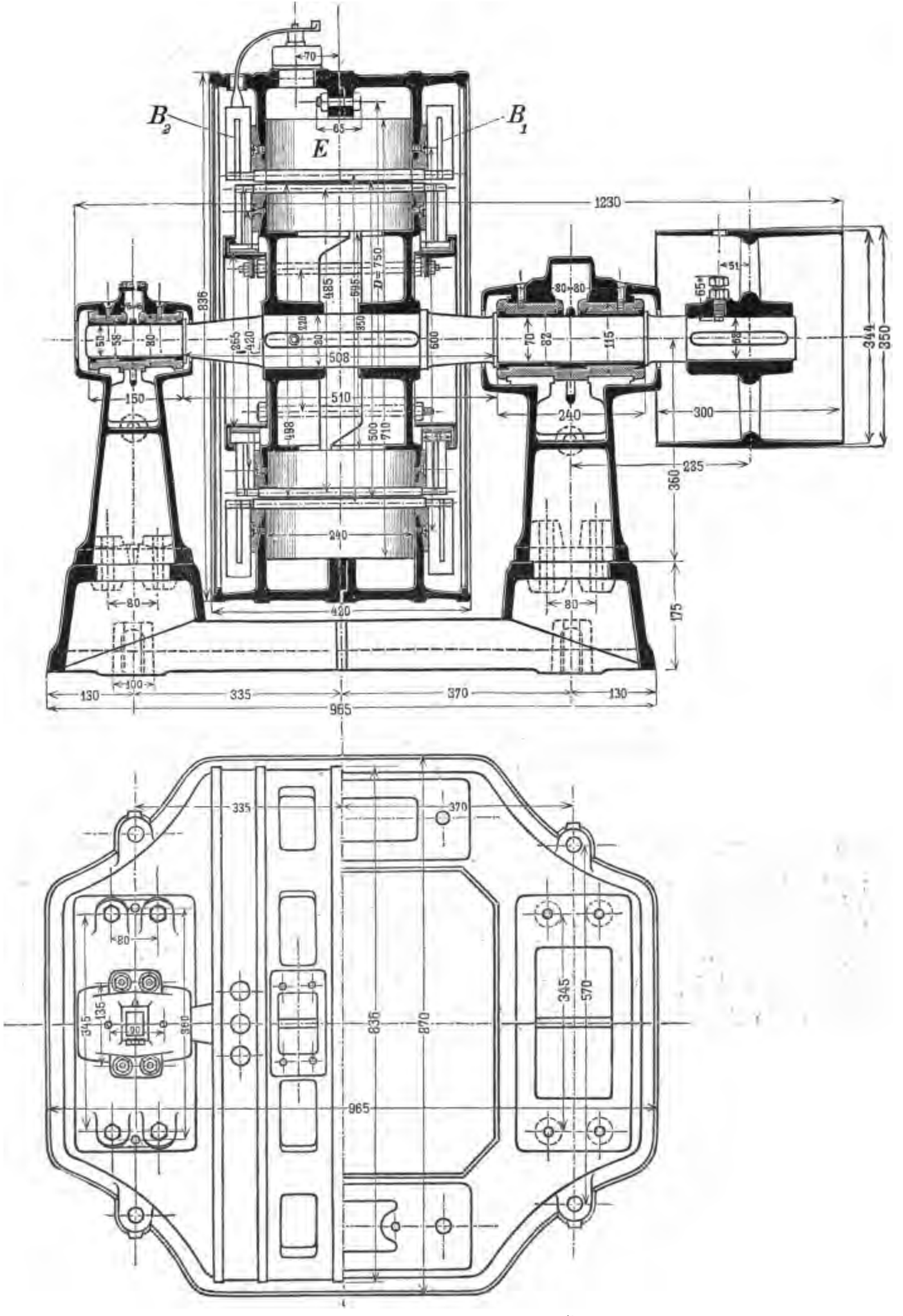


Fig. 318. Neuer Drehstrom-Motor zu 36 *P. S.* nach Örlikon (Grund- und Aufriss)

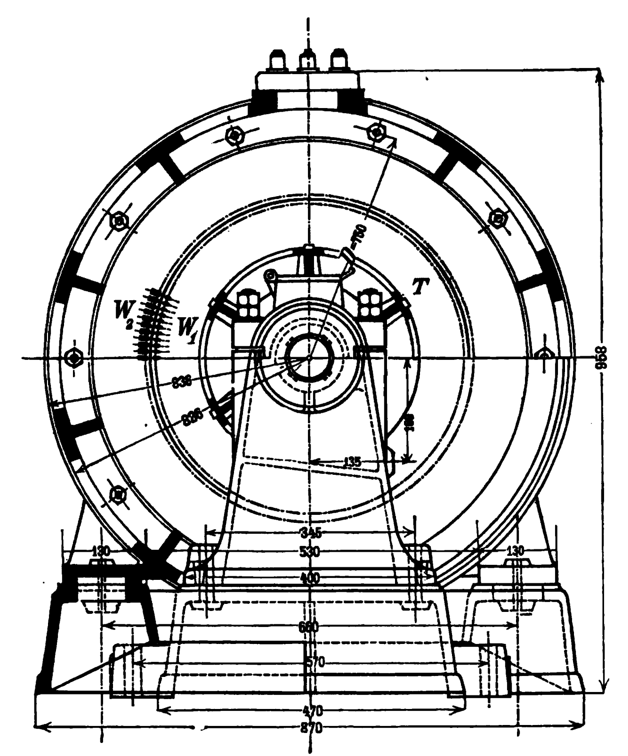


Fig. 319. Neuer Drehstrom-Motor zu 36 *P. S.* nach Örlikon (Kreuzriss).

190 Volt, die Periodenzahl = 50. In 94 Nuten zu je zwei Stäben von 3 × 14 mm^2 Querschnitt liegt die Erregung. Die Gabeln, welche zur Verbindung der einzelnen Stäbe dienen, haben einen Querschnitt von 2 × 18 mm^2. Der Anker besteht aus 150, in fünf Phasen vereinigten Stäben von 4 × 10 mm^2, während der Querschnitt der Verbindungsstücke die Abmessungen 2·5 × 14 *mm* besitzt.

Tabelle über Durchmesser, Querschnitte, Längen, Gewichte und Widerstände von Kupferdrähten. [1]

Kreisförmiger Querschnitt. Spec. Gewicht = 8·9. 1 *m* käuflicher Kupferdraht von 1 *mm*² Querschnitt angenommen zu 0·01740 Ohm bei 15° C oder zu 0·01646 Ohm bei 0° C. Leitungsfähigkeit bei 0° C. 57·1.

Durchmesser in *mm*	Querschnitt in *mm*²	Meterzahl für 1 *kg*	Gewicht für 1 *m* in *g*	Widerstand für 1 *m* in Ohm	Länge für 1 Ohm in *m*
0·09	0·00636	17660	0·057	2·735	0·3657
0·10	0·00785	14304	0·070	2·215	0·4514
0·18	0·0254	4415	0·227	0·6836	1·462
0·20	0·0314	3576	0·380	0·5538	1·807
0·30	0·0707	1589	0·629	0·2472	4·063
0·35	0·0855	1168	0·856	0·1809	5·530
0·36	0·0962	1102	0·906	0·1709	5·850
0·37	0·1075	1045	0·957	0·1618	6·181
0·38	0·1134	990·6	0·010	0·1534	6·520
0·39	0·1195	940·5	0·063	0·1457	6·866
0·4	0·126	894	1·118	0·1384	7·223
0·42	0·138	810·9	1·233	0·1256	7·964
0·45	0·159	706·4	1·416	0·1094	9·141
0·5	0 196	572	1·748	0·08860	11·28
0·55	0·238	472·9	2·115	0·07323	13·66
0·6	0·283	397·2	2·510	0·06154	16·25
0·65	0·332	338·6	2·954	0·05243	19·08
0·7	0·385	292·0	3·426	0·04525	22·12
0·8	0·503	223·5	4·474	0·03463	28·90
0·9	0·636	176·6	5·663	0·02735	36·57
1·0	0·785	143·04	6·991	0·02215	45·14
1·1	0·950	117·94	8·459	0·01835	54·62
1·2	1·131	99·34	10·07	0·01539	65·00
1·3	1·327	84·64	11·810	0·01311	76·29
1·4	1·539	72·98	13·70	0·01131	88·48
1·5	1·767	63·57	15·73	0·009845	101·6
1·6	2·011	55·88	17·90	0·008653	115·6
1·7	2·270	49·50	20·20	0·007665	130·5
1·8	2·545	44·15	22·65	0·006836	146·2
1·9	2·835	39·62	25·24	0·006136	163·0

[1]) F. Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker, 1994, Seiten 102 und 103.

Durchmesser in *mm*	Querschnitt in mm^2	Meterzahl für 1 *kg*	Gewicht für 1 *m* in *g*	Widerstand für 1 *m* in Ohm	Länge für 1 Ohm in *m*
2·0	3·142	35·76	27·96	0 005538	180·5
2·1	3·462	32·44	30·83	0·005025	199·0
2·2	3·801	29·56	33·84	0·004577	218·5
2·3	4·155	27·04	36·98	0·004187	238·8
2·4	4·524	24·83	40 27	0·003845	260·1
2·5	4·909	22·89	43·69	0·003544	282·1
2·6	5·309	21·16	47·26	0·003277	305·2
2·7	5·726	19·62	50·96	0·003039	329·1
2·8	6·158	18·25	54·81	0·002826	353·9
2·9	6·605	17·01	58·79	0·002684	379·7
3·0	7·07	15·89	63·92	0·002462	406·3
3·1	7·55	14·89	67·18	0·002305	433·3
3·2	8·04	13·97	71·59	0·002163	462·3
3·3	8·55	13 14	76·13	0·002034	491·7
3·4	9·08	12·37	80·80	0·001916	521·9
3·5	9·62	11·68	85·64	0·001809	553·0
3·6	10·18	11·02	90·60	0·001709	585·0
3·7	10·75	10·45	95·71	0·001618	618·1
3·8	11·34	9 906	101·0	0·001534	652·0
3·9	11·95	9·405	106·3	0 001457	686·6
4·0	12·57	8·940	111·8	0·001385	722·3
4·1	13·20	8·509	117·5	0·001318	758·9
4·2	13·85	8·109	123·3	0·001256	796·4
4·3	14·52	7·736	129·3	0·001198	834·7
4·4	15 21	7·388	135·3	0·001145	874·0
4·5	15·90	7·064	141·6	0·001094	914·1
4·6	16·62	6·760	147·9	0·001047	955·2
4·7	17·35	6·475	154·4	0·001003	997·2
4·8	18·10	6·209	161·1	0·0009614	1040
4·9	18·86	5·958	167·9	0·0009226	1084
5·0	19·64	5·722	174·8	0·0008860	1128
5 5	23·76	4·729	211·5	0·0007323	1366
6·0	28·27	3·972	251·6	0·0006154	1625
6·5	33·18	3·386	295·4	0·0005243	1908
7·0	38·49	2·920	342·6	0·0004525	2212
7·5	44·18	2·543	393·2	0·0003939	2539
8·0	50·27	2·235	447·4	0·0003468	2890
8·5	56·75	1·980	504·1	0·0003066	3262
9·0	63·62	1·766	566·3	0·0002734	3657
9 5	70·88	1·585	630·9	0·0002455	4064
10·0	78·54	1·430	699·1	0·0002215	4514

Die Widerstände des Universalgalvanometers von Siemens & Halske sind bei den alten Instrumenten in Siemens-Einheiten, bei den neuen in Ohm ausgeführt. Für die letzteren Instrumente gilt die nachfolgende Tabelle. Eine Tabelle zur Umrechnung der Angaben des Instrumentes, welches mit Siemens-Einheiten ausgerüstet ist, in Ohm enthält der Kalender für Elektrotechniker nach F. Uppenborn, 1887, S. 143 u. 144.

Tabelle zum Universalgalvanometer nach Siemens & Halske
für Instrumente, welche in Ohm ausgerüstet sind.

Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$	Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$	Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$
145	59·00	0·017						
144·5	53·55	0·019	119·5	8·84	0·113	94·5	4·40	0·227
144	49·00	0·020	119	8·68	0·115	94	4·36	0·230
143·5	45·15	0·022	118·5	8·52	0·117	93·5	4·31	0·232
143	41·86	0·024	118	8·37	0·119	93	4·26	0·235
142·5	39·00	0·026	117·5	8·23	0·121	92·5	4·22	0·237
142	36·50	0·028	117	8·09	0·123	92	4·17	0·240
141·5	34·29	0·029	116·5	7·96	0·126	91·5	4·13	0·242
141	32·33..	0·031	116	7·82	0·128	91	4·08	0·245
140·5	30·58	0·033	115·5	7·69	0·130	90·5	4·04	0·247
140	29·00	0·035	115	7·57	0·132	90	4·00	0·250
139·5	27·57	0·036	114·5	7·45	0·134	89·5	3·96	0·253
139	26·27	0·038	114	7·33	0·136	89	3·92	0·255
138·5	25·09	0·040	113·5	7·22	0·139	88·5	3·88	0·258
138	24·00	0·042	113	7·11	0·141	88	3·84	0·260
137·5	23·00	0·044	112·5	7·00	0·143	87·5	3·80	0·263
137	22·08	0·045	112	6·89	0·145	87	3·76	0·266
136·5	21·22..	0·047	111·5	6·79	0·147	86·5	3·72	0·269
136	20·43	0·049	111	6·69	0·150	86	3·69	0·271
135·5	19·69	0·051	110·5	6·59	0·152	85·5	3·65	0·274
135	19·00	0·052	110	6·50	0·154	85	3·62	0·276
134·5	18·35	0·054	109·5	6·41	0·156	84·5	3·58	0·279
134	17·75	0·056	109	6·32	0·158	84	3·54	0·282
133·5	17·18	0·058	108·5	6·23	0·160	83·5	3·51	0·285
133	16·65	0·060	108	6·14	0·163	83	3·48	0·288
132·5	16·14	0·062	107·5	6·06	0·165	82·5	3·44	0·290
132	15·67	0·064	107	5·97	0·168	82	3·41	0·293
131·5	15·22	0·066	106·5	5·89	0·170	81·5	3·38	0·296
131	14·79	0·068	106	5·82	0·172	81	3·35	0·299
130·5	14·38	0·070	105·5	5·74	0·174	80·5	3·31	0·302
130	14·00	0·071	105	5·67	0·176	80	3·28	0·304
129·5	13·63	0·073	104·5	5·59	0·179	79·5	3·25	0·307
129	13·28	0·075	104	5·52	0·181	79	3·22	0·310
128·5	12·95	0·077	103·5	5·45	0·183	78·5	3·19	0·313
128	12·64	0·079	103	5·38	0·186	78	3·17	0·316
127·5	12·33..	0·081	102·5	5·31	0·188	77·5	3·14	0·319
127	12·04	0·083	102	5·25	0·190	77	3·11	0·322
126·5	11·76	0·085	101·5	5·18	0·193	76·5	3·08	0·325
126	11·50	0·087	101	5·12	0·195	76	3·05	0·327
125·5	11·24	0·089	100·5	5·06	0·198	75·5	3·03	0·330
125	11·00	0·091	100	5·00	0·200	75	3·00	0·333
124·5	10·76	0·093	99·5	4·94	0·202	74·5	2·973	0·336
124	10·54	0·095	99	4·88	0·205	74	2·947	0·339
123·5	10·32	0·097	98·5	4·82	0·207	73·5	2·921	0·342
123	10·11	0·099	98	4·77	0·209	73	2·896	0·345
122·5	9·91	0·101	97·5	4·71	0·212	72·5	2·871	0·348
122	9·72	0·103	97	4·66	0·215	72	2·846	0·351
121·5	9·53	0·105	96·5	4·61	0·217	71·5	2·822	0·354
121	9·35	0·107	96	4·55	0·220	71	2·797	0·357
120·5	9·17	0·109	95·5	4·50	0·222	70·5	2·773	0·360
120	9·00	0·111	95	4·45	0·224	70	2·750	0·364

Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$	Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$	Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$
69·5	2·726	0·367	44·5	1·834	0·542	19·5	1·298	0·770
69	2·703	0·370	44	1·830	0·546	19	1·290	0·775
68·5	2·680	0·373	43·5	1·816	0·550	18·5	1·281	0·780
68	2·658	0·376	43	1·803	0·554	18	1·272	0·786
67·5	2·636	0·379	42·5	1·790	0·558	17·5	1·264	0·791
67	2·614	0·382	42	1·777	0·562	17	1·255	0·796
66·5	2·592	0·386	41·5	1·795	0·567	16·5	1·247	0·802
66	2·571	0·389	41	1·752	0·571	16	1·238	0·807
65·5	2·550	0·392	40·5	1·739	0·575	15·5	1·230	0·813
65	2·529	0·395	40	1·727	0·579	15	1·222	0·818
64·5	2·509	0·398	39·5	1·714	0·583	14·5	1·214	0·823
64	2·488	0·402	39	1·702	0·587	14	1·206	0·829
63·5	2·468	0·405	38·5	1·690	0·592	13·5	1·198	0·835
63	2·448	0·408	38	1·679	0·596	13	1·189	0·841
62·5	2·428	0·412	37·5	1·667	0·600	12·5	1·181	0·847
62	2·409	0·415	37	1·655	0·604	12	1·173	0·852
61·5	2·389	0·418	36·5	1·643	0·609	11·5	1·166	0·858
61	2·370	0·422	36	1·631	0·613	11	1·158	0·863
60·5	2·352	0·425	35·5	1·620	0·617	10·5	1·150	0·869
60	2·333	0·429	35	1·608	0·622	10	1·143	0·875
59·5	2·315	0·432	34·5	1·597	0·626	9·5	1·135	0·881
59	2·296	0·435	34	1·586	0·630	9	1·127	0·887
58·5	2·278	0·439	33·5	1·575	0·635	8·5	1·120	0·893
58	2·261	0·442	33	1·564	0·639	8	1·112	0·899
57·5	2·243	0·446	32·5	1·553	0·644	7·5	1·105	0·905
57	2·226	0·449	32	1·542	0·648	7	1·097	0·911
56·5	2·208	0·453	31·5	1·531	0·653	6·5	1·090	0·917
56	2·191	0·456	31	1·521	0·657	6	1·083	0·923
55·5	2·174	0·460	30·5	1·510	0·662	5·5	1·076	0·929
55	2·158	0·463	30	1·500	0·667	5	1·068	0·935
54·5	2·141	0·467	29·5	1·489	0·671	4·5	1·061	0·942
54	2·125	0·471	29	1·479	0·676	4	1·054	0·948
53·5	2 109	0·474	28·5	1·469	0·681	3·5	1·047	0·954
53	2·093	0·478	28	1·459	0·685	3	1·040	0·960
52·5	2·077	0·481	27·5	1·449	0·690	2·5	1·033	0·967
52	2·061	0·485	27	1·439	0·695	2	1·027	0·974
51·5	2·045	0·489	26·5	1·429	0·700	1·5	1·020	0·980
51	2·030	0·492	26	1·419	0·705	1	1·013	0·987
50·5	2·015	0·496	25·5	1·409	0·709	0·5	1·006	0·993
50	2·000	0·500	25	1·400	0·714	0	1	1
49·5	1·985	0·504	24·5	1·390	0·719			
49	1·970	0·508	24	1·380	0·724			
48·5	1·955	0·511	23·5	1·371	0·729			
48	1·941	0·515	23	1·362	0·734			
47·5	1·926	0·519	22·5	1·352	0·739			
47	1·913	0·523	22	1·343	0·744			
46·5	1·898	0·527	21·5	1·334	0·749			
46	1·884	0·531	21	1·325	0·754			
45·5	1·870	0·535	20·5	1·316	0·760			
45	1·857	0·538	20	1·307	0·765			

Tabelle der Quadrate, Cuben, Quadrat- und Cubikwurzeln. Reciproken und natürlichen Logarithmen der natürlichen Zahlen von 1 bis 100.

a	a^2	a^3	$\sqrt{a}$	$\sqrt[3]{a}$	$\frac{1}{a}$	log. nat. a
0	0	0	0·0000	0·0000	∞	— ∞
1	1·00	1	1·0000	1·0000	1·00000	0.0000
2	4·00	8	1·4142	1·2599	0·50000	1·6931
3	9·00	27	1·7321	1·4422	0·33333	1·0986
4	16·00	64	2·0000	1·5874	0·25000	1·3863
5	25·00	125	2·2361	1·7100	0·20000	1·6094
6	36·00	216	2·4495	1·8171	0·16667	1·7918
7	49·00	343	2 6458	1·9129	0·14286	1·9459
8	64·00	512	2·8284	2·0000	0·12500	2·0794
9	81·00	729	3·0000	2·0801	0·11111	2·1972
10	100·00	1000	3·1623	2·1544	0·10000	2·3026
11	121·00	1331	3·3166	2·2240	0·09091	2·3979
12	144 00	1728	3·4641	2·2894	0·08133	2·4849
13	169·00	2197	3·6056	2·3513	0·07692	2·5649
14	196·00	2744	3·7417	2·4101	0·07143	2·6391
15	225·00	3375	3·8730	2·4662	0·06667	2·7081
16	256·00	4096	4·0000	2·5198	0·06250	2·7726
17	289·00	4913	4·1231	2·5713	0·05882	2·8332
18	324·00	5832	4·2426	2·6207	0·05556	2·8904
19	361·00	6859	4·3589	2·6684	0·05263	2·9444
20	400·00	8000	4·4721	2·7144	0·05000	2·9957
21	441·00	9261	4·5826	2·7589	0·04762	2·0445
22	484·00	10648	4·6904	2·8020	0·04545	3·0910
23	529·00	12167	4·7958	2·8439	0·04348	3·1355
24	576·00	13824	4·8990	2·8845	0·04167	3·1781
25	625·00	15625	5·0000	2·9240	0·04000	3·2189
26	676·00	17576	5·0990	2·9625	0·03846	3·2581
27	729·00	19683	5·1962	3·0000	0·03704	3·2958
28	784.00	21952	5·2915	3·0366	0·03571	3·3322
29	841·00	24389	5·3852	3·0723	0·03448	3·3673
30	900·00	27000	5·4772	3·1072	0·03333	3·4012
31	961·00	29791	5·5678	3·1414	0·03226	3·4340
32	1024·00	32768	5·6569	3·1748	0·03125	3·4657
33	1089·00	35937	5·7446	3·2075	0·03030	3·4965
34	1156·00	39304	5·8310	3·2396	0·02941	3·5264
35	1225·00	42875	5·9161	3·2711	0·02857	3·5553
36	1296·00	46656	6·0000	3·3019	0·02778	3·5835
37	1369·00	50653	6·0828	3·3322	0·02703	3·6109
38	1444·00	54872	6·1644	3·3620	0·02632	3·6376
39	1521·00	59319	6·2450	3·3912	0·02564	3·6636
40	1600·00	64000	6·3246	3·4200	0·02500	3·6889
41	1681·00	68921	6·4031	3·4482	0·02439	3·7136
42	1764·00	74088	6·4807	3·4760	0·02381	3·7377
43	1849·00	79507	6·5574	3·5034	0·02326	3·7612
44	1936·00	85184	6·6332	3·5303	0·02273	3·7842
45	2025·00	91125	6·7082	3·5569	0·02222	3·8067
46	2116·00	97336	6·7823	3·5830	0·02174	3·8286
47	2209·00	103823	6·8557	3·6088	0·02128	3·8501
48	2304·00	110592	6·9282	3·6342	0·02083	3·8712
49	2401·00	117649	7·0000	3·6593	0·02041	3·8918
50	2500·00	125000	7·0711	3·6840	0·02000	3·9120

a	a^2	a^3	$\sqrt{a}$	$\sqrt[3]{a}$	$\frac{1}{a}$	log. nat. a
51	2601	132651	7·1414	3·7084	0·01961	3·9318
52	2704	140608	7·2111	3·7325	0·01923	3·9512
53	2809	148877	7·2801	3·7563	0·01887	3·9703
54	2916	157464	7·3485	3·7798	0·01852	3·9890
55	3025	166375	7·4162	3·8030	0·01818	4·0073
56	3136	175616	7·4833	3·8259	0·01786	4·0254
57	3249	185193	7·5498	3·8485	0·01754	4·0431
58	3364	195112	7·6158	3·8709	0·01724	4·0604
59	3481	205379	7·6811	3·8930	0·01695	4·0775
60	3600	216000	7·7460	3·9149	0·01667	4·0943
61	3721	226981	7·8102	3·9365	0·01639	4·1109
62	3844	238328	7·8740	3·9579	0·01613	4·1271
63	3969	250047	7·9373	3·9791	0·01587	4·1431
64	4096	262144	8·0000	4·0000	0·01563	4·1589
65	4225	274625	8·0623	4·0207	0·01538	4·1744
66	4356	287496	8·1240	4·0412	0·01515	4·1897
67	4489	300763	8·1854	4·0615	0·01493	4·2047
68	4624	314432	8·2462	4·0817	0·01471	4·2195
69	4761	328509	8·3066	4·1016	0·01449	4·2341
70	4900	343000	8·3666	4·1213	0·01429	4·2485
71	5041	357911	8·4261	4·1408	0·01408	4·2627
72	5184	373248	8·4853	4·1602	0·01389	4·2767
73	5329	389017	8·5440	4·1793	0·01370	4·2905
74	5476	405224	8·6023	4·1983	0·01351	4·3041
75	5625	421875	8·6603	4·2172	0·01333	4·3175
76	5776	438976	8·7178	4·2358	0·01316	4·3307
77	5929	456533	8·7750	4·2543	0·01299	4·3438
78	6084	474552	8·8318	4·2727	0·01282	4·3567
79	6241	493039	8·8882	4·2908	0·01266	4·3694
80	6400	512000	8·9443	4·3089	0·01250	4·3820
81	6561	531441	9·0000	4·3267	0·01235	4·3944
82	6724	551368	9·0554	4·3445	0·01220	4·4067
83	6889	571787	9·1104	4·3621	0·01205	4·4188
84	7056	592704	9·1652	4·3795	0·01190	4·4308
85	7225	614125	9·2195	4·3968	0·01176	4·4427
86	7396	636056	9·2736	4·4140	0·01163	4·4543
87	7569	658503	9·3274	4·4310	0·01149	4·4659
88	7744	681472	9·3808	4·4480	0·01136	4·4773
89	7921	704969	9·4340	4·4647	0·01124	4·4886
90	8100	729000	9·4868	4·4814	0·01111	4·4998
91	8281	753571	9·5394	4·4979	0·01099	4·5109
92	8464	778688	9·5917	4·5144	0·01087	4·5218
93	8649	804357	9·6437	4·5307	0·01075	4·5326
94	8836	830584	9·6959	4·5468	0·01064	4·5433
95	9025	857375	9·7468	4·5629	0·01053	4·5539
96	9216	884736	9·7980	4·5789	0·01042	4·5643
97	9409	912673	9·8489	4·5947	0·01031	4·5747
98	9604	941192	9·8995	4·6104	0·01020	4·5850
99	9801	970299	9·9499	4·6261	0·01010	4·5951
100	10000	1000000	10·0000	4·6416	0·01000	4·6052

Tabelle der Kreisumfänge und Kreisflächen der Kreisdurchmesser von 0·02 bis 100.

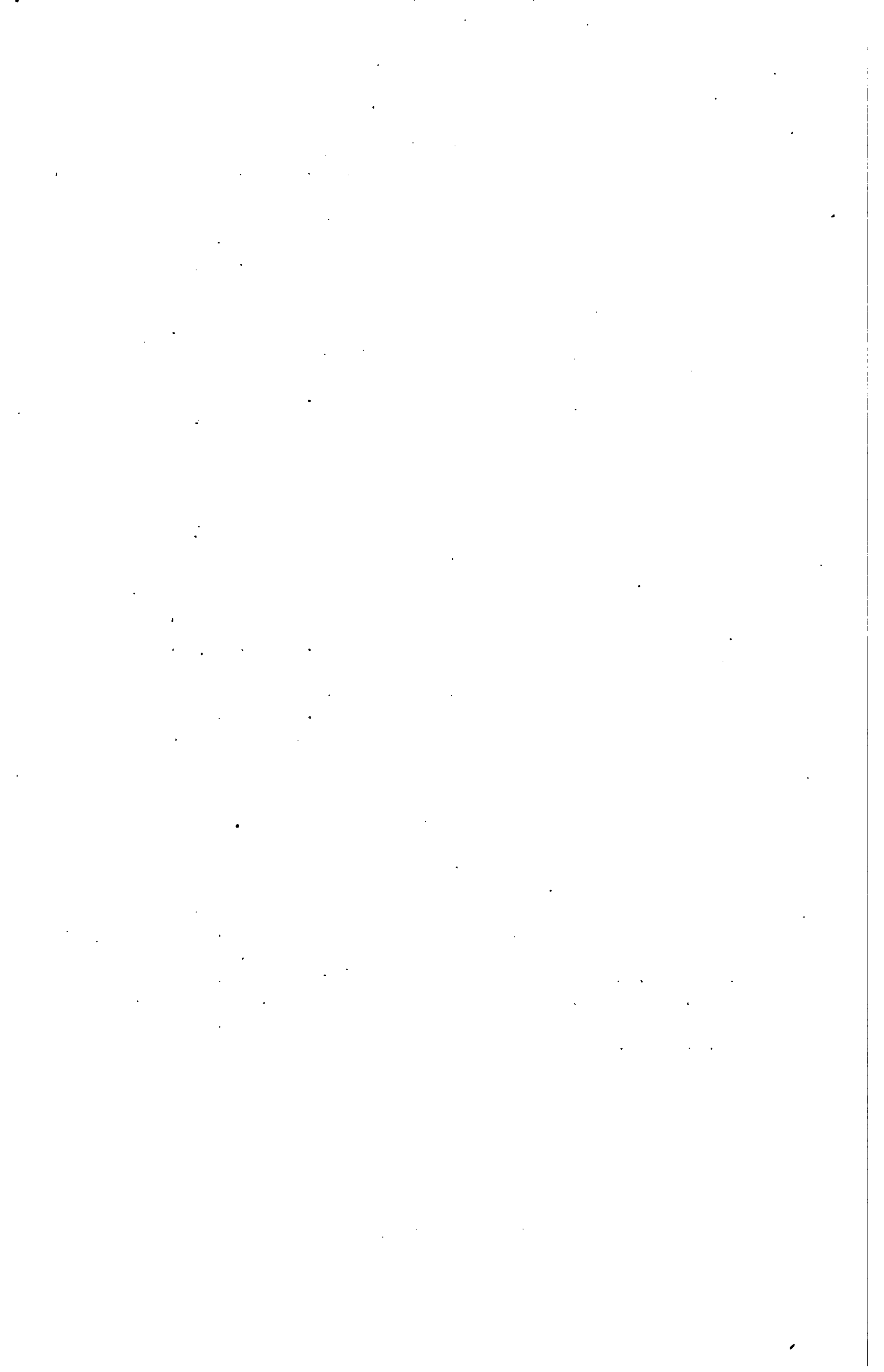
d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$
0·02	0·0628	0·0003	3·7	11·624	10·752	8·5	26·70	56·75
0·04	0·1257	0·0013	3·8	11·938	11·341	8·6	27·02	58·09
0.06	0·1885	0·0028	3·9	12·252	11·946	8·7	27·33	59·45
0·08	0·2513	0·0050	4·0	12·566	12·566	8·8	27·65	60·82
0·09	0·2827	0·0064	4·1	12·881	13·203	8·9	27·96	62·21
0·1	0·3142	0·0079	4·2	13·195	13·854	9·0	28·27	63·62
0·15	0·4712	0·0177	4·3	13·509	14·522	9·1	28·59	65·04
0·2	0·6283	0·0314	4·4	13·823	15·205	9·2	28·90	66·48
0·25	0·7854	0·0491	4·5	14·137	15·904	9·3	29·22	67·93
0·3	0·9425	0·0707	4·6	14·451	16·619	9·4	29·53	69·40
0·35	1·0996	0·0962	4·7	14·765	17·349	9·5	29·85	70·88
0·4	1·2566	0·1257	4·8	15·080	18·096	9·6	30·16	72·38
0·45	1·4137	0·1590	4·9	15·394	18·857	9·7	30·47	73·90
0·5	1·5708	0·1964	5·0	15·708	19·635	9·8	30·88	75·43
0·55	1·7279	0·2376	5·1	16·022	20·428	9·9	31·10	76·98
0·6	1·885	0·283	5·2	16·336	21·237	10·0	31·42	78·54
0·65	2·042	0·332	5·3	16·650	22·062	10·1	31·73	80·12
0·7	2·199	0·385	5·4	16·965	22·902	10·2	32·04	81·72
0·75	2·356	0·442	5·5	17·279	23·758	10·3	32·36	83·32
0·8	2·513	0·503	5·6	17·593	24·630	10·4	32·67	84·95
0·9	2·827	0·636	5·7	17·907	25·5518	10·5	32·99	86·59
1·0	3·142	0·785	5·8	18·221	26·421	10·6	33·30	88·25
1·1	3·456	0·950	5·9	18·535	27·340	10·7	33·62	89·92
1·2	3·770	1·131	6·0	18·85	28·27	10·8	33·93	91·61
1·3	4·084	1·327	6·1	19·16	29·22	10·9	34·24	93·31
1·4	4·398	1·539	6·2	19·48	30·19	11·0	34·56	95·03
1·5	4·712	1·767	6·3	19·79	31·17	11·1	34·87	96·77
1·6	5·027	2·011	6·4	20·11	32·17	11·2	35·19	98·52
1·7	5·341	2·270	6·5	20·42	33·18	11·3	35·50	100·29
1·8	5·655	2·545	6·6	20·74	34·21	11·4	35·81	102·07
1·9	5.969	2·835	6·7	21·05	35·26	11·5	36·13	103·87
2·0	6·283	3·142	6·8	21·36	36·32	11·6	36·44	105·68
2·1	6·597	3·464	6·9	21·68	37·39	11·7	36·76	107·51
2·2	6·912	3·801	7·0	21·99	38·48	11·8	37·07	109·36
2·3	7·226	4·155	7·1	22·31	39·59	11·9	37·39	111·22
2·4	7·540	4·524	7·2	22·62	40·72	12·0	37·70	113·10
2·5	7·854	4·909	7·3	22·93	41·85	12·1	38·01	114·99
2·6	8·168	5·309	7·4	23·25	43·01	12·2	38·33	116·90
2·7	8·482	5·726	7·5	23·56	44·18	12·3	38·64	118·82
2·8	8·797	6·158	7·6	23·88	45·36	12·4	38·96	120·76
2·9	9·111	6·605	7·7	24·19	46·57	12·5	39·27	122·72
3·0	9·425	7·069	7·8	24·50	47·78	12·6	39·58	124·69
3·1	9·739	7·548	7·9	24·82	49·02	12·7	39·90	126·68
3·2	10·053	8·042	8·0	25·13	50·27	12·8	40·21	128·68
3·3	10·367	8·553	8·1	25·45	51·53	12·9	40·53	130·70
3·4	10·681	9·079	8·2	25·76	52·81	13·0	40·84	132·73
3·5	10·996	9·621	8·3	26·08	54·11	13·1	41·16	134·78
3·6	11·310	10·179	8·4	26·39	55·41	13·2	41·47	136·85

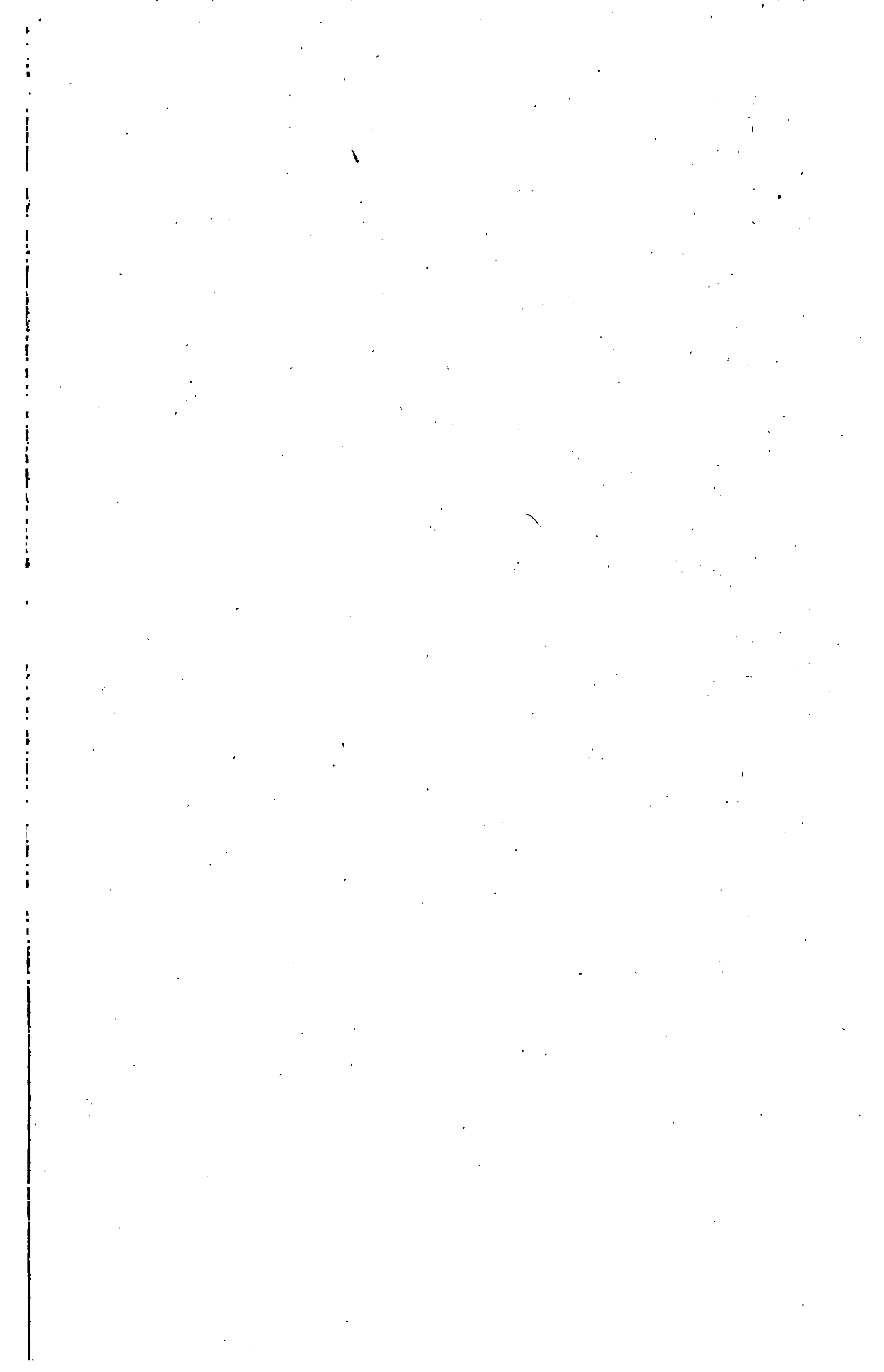
d	$\pi\, d$	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	$\pi\, d$	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	$\pi\, d$	$\frac{\pi}{4} d^2$
13·3	41·78	138·93	18·6	58·43	271·72	50	157·1	1963·5
13·4	42·10	141 03	18·7	58·75	274 65	51	160·2	2042 8
13·5	42·41	143·14	18·8	59·06	277 59	52	163·4	2123·7
13 6	42·73	145·27	18·9	59·38	280 55	53	166·5	2206·2
13·7	43·04	147·41	19·0	59·69	283·53	54	169·7	2290·2
13 8	43 35	149·57	19·1	60·00	286 52	55	172·8	2375·8
13·9	43·67	151.75	19·2	60·32	289 53	56	175·9	2463·0
14·0	43 98	153·94	19·3	60·63	292·55	57	179·1	2551·8
14·1	44·30	156·15	19·4	60·95	295·59	58	182·2	2642 1
14·2	44 61	158·37	19 5	61·26	298·65	59	185·4	2734 0
14·3	44·93	160·61	19·6	61·58	301·72	60	188·5	2827·4
14·4	45·24	162·86	19·7	61·89	304·81	61	191·6	2922·5
14·5	45·55	165·13	19·8	62·20	307·91	62	194·8	3019·1
14·6	45·87	167·42	19·9	62·52	311·03	63	197·9	3117·3
14·7	46·18	169·72	20·0	62·83	314·16	64	201·1	3217·0
14·8	46·50	172·03	20·1	63·15	317 31	65	204·1	3318 3
14·9	46 81	174·37	20 2	63·46	320·47	66	207 4	3421·2
15·0	47·12	176 72	20 3	63·77	323·66	67	210·5	3525·7
15·1	47·44	179 08	20·4	64·09	326·85	68	213·6	3631·7
15 2	47·75	181·46	20 5	64·40	330 06	69	216·8	3739 3
15·3	48·07	183·85	20·6	64·72	333 29	70	219·9	3848·5
15·4	48·38	186·27	20·7	65·03	336·54	71	233·1	3959·2
15·5	48 70	188·67	20·8	65·35	339·80	72	226·2	4071·5
15 6	49·01	191·13	20·9	65·66	343 07	73	229·3	4185·4
15·7	49 32	193·59	21	65·97	346·36	74	232·5	4300·8
15·8	49·64	196·07	22	69·12	380 13	75	235·6	4417·9
15·9	49·95	198·56	23	72 26	415·48	76	238·8	4536·5
16·0	50·27	201·06	24	75·40	452 39	77	241·9	4656·6
16·1	50·58	203·58	25	78·54	490·87	78	245·0	4778·4
16·2	50·89	206 12	26	81·68	530·93	79	248·2	4901·7
16·3	51·21	208·67	27	84 82	572 56	80	251·3	5026·6
16·4	51 52	211·24	28	87·97	615·75	81	254·5	5153·0
16·5	51 84	213·83	29	91·11	660 52	82	257·6	5281·0
16·6	52·15	216·42	30	94·25	706 86	83	260·8	5410·6
16·7	52·47	219·04	31	97 39	754·77	84	263 9	5541·8
16·8	52·78	221·67	32	100·53	804·25	85	267·0	5674·5
16·9	53 09	224·32	33	103·67	855·30	86	270·2	5808·8
17·0	53·41	226·98	34	106·81	907·92	87	273·3	5944·7
17·1	53·72	229 66	35	109·96	962·11	88	276·5	6082·1
17·2	54·04	232·35	36	113·10	1017 9	89	279·6	6221·1
17·3	54 35	235 06	37	116·24	1075·2	90	282·7	6361·7
17·4	54 66	237·79	38	119·38	1134·1	91	285·9	6503·9
17·5	54 98	240·53	39	122·52	1194 6	92	289·0	6647·6
17·6	55 29	243·29	40	125·66	1256·6	93	292·2	6792·9
17·7	55·61	246·06	41	128·88	1320·3	94	295·3	6939·8
17·8	55 92	248·85	42	132·0	1385·4	95	298·5	7088·2
17 9	56·24	251·65	43	135·1	1452·2	96	301·6	7238·2
18·0	56·55	254·47	44	138·2	1520·5	97	304·7	7389·8
18·1	56·86	257·30	45	141·4	1590 4	98	307·9	7543·0
18·2	57·18	260·16	46	144·5	1661·9	99	311.0	7697·7
18 3	57·49	263·02	47	147·7	1734·9	100	314·2	7854·0
18·4	57·80	265.90	48	150·8	1809·6			
18·5	58·12	268·80	49	153·9	1885·7			

Namen- und Sach-Verzeichnis.

21*

K. u. k. Hofbuchdruckerei Karl Prochaska in Teschen.






G.E. STECHERT
& Co.
NEW YORK